LƯỢC SỬ THỜI GIAN

A BRIEF HISTORY OF TIME

CAO CHI
PHẠM VĂN THIỀU
dịch

Tái bản lần thứ 12



STEPHEN HAWKING



NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Kể từ lần xuất bản đầu tiên, năm 1988, trong mười năm qua tác phẩm kinh điển LƯỢC SỬ THỜI GIAN của Stephen Hawking đã tạo nên một bước ngoặc trong các tác phẩm khoa học: hơn 9 triệu bản in, dịch sang 40 thứ tiếng và được bán trên toàn thế giới.

Giáo sư Hawking đã chuẩn bị một phần giới thiệu mới cho cuốn LƯỢC SỬ THỜI GIAN nhân lần in thứ 10 này, ông cũng viết một chương hoàn toàn mới về *Lỗ Sâu Đục (wormholes) và sự chuyển động của thời gian*, đồng thời *cập nhật* các chương còn lại.

LƯỢC SỬ THỜI GIAN hướng dẫn một cách chuyên môn cho những nhà khoa học không chuyên khắp mọi nơi đang nghiên cứu về những bí mật ở trung tâm của không gian và thời gian. Lần xuất bản kỷ niệm lần in thứ 10 này sẽ làm rõ một cách sống động tại sao tác phẩm kinh điển của giáo sư Hawking làm thay đổi cách nhìn của chúng ta về vũ trụ.

LƯỢC SỬ THỜI GIAN

A BRIEF HISTORY OF TIME



BIỂU GHI BIÊN MỤC TRƯỚC XUẤT BẢN DO THƯ VIỆN KHTH TP.HCM THỰC HIỆN

Hawking, Stephen

Lược sử thời gian / Stephen Hawking ; Cao Chi, Phạm Văn Thiều d. - Tái bản lần thứ 12. - T.P. Hồ Chí Minh : Trẻ, 2016.

285 tr. : hình vẽ, tranh ảnh ; 20cm. - (Tủ sách kiến thức thời đại).

Nguyên bản : A brief history of time.

1. Vũ trụ học. 2. Không gian và thời gian. I. Cao Chi d. II. Phạm Văn Thiều d. III. Ts: A brief history of time.

529 – dc 22
H392



LƯỢC SỬ THỜI GIAN

A BRIEF HISTORY OF TIME

Cập nhật và bổ sung
nhân kỷ niệm lần in
thứ 10

CAO CHI
PHẠM VĂN THIỀU
dịch

**STEPHEN
HAWKING**

NHÀ XUẤT BẢN TRẺ

Cùng bạn đọc

Chúng tôi xin trân trọng giới thiệu với các bạn đọc một cuốn sách kỳ diệu: *Lược sử thời gian*, do nhà vật lý lý thuyết nổi tiếng S.W.Hawking viết, hiện là một trong những cuốn sách bán chạy nhất (bestseller) trên thế giới, vì hai lý do:

Lý do thứ nhất làm cho cuốn sách nổi tiếng là chính bản thân cá nhân tác giả. S.W.Hawking sinh năm 1942, ông chuyên nghiên cứu về lý thuyết tương đối rộng và tập trung vào vấn đề các kỳ dị của không gian. Những kết quả thu được cùng với George Ellis, Roger Penrose... và nhất là sự phát hiện khả năng bức xạ của các lỗ đen đã đưa S.W.Hawking lên hàng những nhà vật lý lý thuyết tài năng nhất thế giới. Nhiều bất hạnh đã đến với ông, năm 1985 bị sưng phổi và sau phẫu thuật mở khí quản, S.W.Hawking mất khả năng phát âm, ngoài ra một bệnh tê liệt thần kinh đã gắn chặt ông vào chiếc ghế đẩy. Ông làm việc và giao tiếp với mọi người nhờ một máy vi tính và máy tổng hợp tiếng nói lắp liền với ghế, có thể vì thế mà S.W.Hawking đánh giá rất cao vai trò của tin học. Người ta quá hâm mộ ông đến nỗi có nhiều người xem lời nói của

ông là những lời tiên tri trong vật lý học. Điều này cũng có phần hiểu được vì các công trình khoa học của ông rất độc đáo và sâu sắc. S.W.Hawking hiện là giáo sư toán học tại Đại học Cambridge, ở chức vụ mà trước đây Newton rồi sau đó P.A.M.Dirac đảm nhiệm.

Lý do thứ hai làm cho cuốn sách nổi tiếng là nội dung cực kỳ phong phú và độc đáo của nó. Cuốn sách của S.W. Hawking đề cập những vấn đề tổng quát và nóng hổi nhất trong vật lý học và khoa học nói chung, bao trùm mọi kích thước từ các hạt cơ bản đến toàn bộ vũ trụ.

Tất cả những vấn đề nêu trong cuốn sách, tác giả nhằm hướng tới việc giải thích các giai đoạn lịch sử của toàn bộ vũ trụ, từ lúc thoát thai trong một vụ nổ lớn đến các lỗ đen và các trạng thái quan sát được hiện nay của vũ trụ.

Nhiều chương như: Vũ trụ giãn nở, Lỗ đen, Nguồn gốc và số phận của vũ trụ, Mũi tên thời gian, Lý thuyết thống nhất của vật lý là những chương mà khi đọc lên chắc độc giả không khỏi không suy nghĩ đến những vấn đề mà S.W.Hawking đặt ra: Bản chất của vũ trụ là gì? Vũ trụ từ đâu ra? Chúng ta từ đâu tới và đóng vai trò gì trong vũ trụ? Tại sao vũ trụ lại thế này? Liệu một ngày nào đó, thời gian có sẽ chảy ngược lại không? Có giới hạn cho sự nhận thức của con người không? Đấy là những câu hỏi lớn nhất của khoa học và triết học mà con người có thể đặt ra. S. W. Hawking đã đưa ra nhiều ý tưởng mong trả lời được một số câu hỏi trên, trong đó giả thiết về điều kiện không có biên của vũ trụ có thể làm sáng

tỏ nhiều vấn đề. Trong cuốn sách, thời gian có một vị trí đặc biệt. Chương 9 *Mũi tên thời gian* có thể xem như một tiểu luận độc đáo về thời gian. Vấn đề thời gian đã xuất hiện một cách cơ bản trong lý thuyết tương đối (Einstein), trong triết học (Bergson), trong văn học thi ca (ví dụ xem Xuân Diệu), nhưng chỉ trong Chương 9 này chúng ta mới bắt gặp được một công trình nghiên cứu toàn diện bao trùm các quan điểm tâm lý học, nhiệt động học, vũ trụ học.

Cuốn sách được viết bằng một ngôn ngữ sáng sủa, lập luận chặt chẽ rất thuyết phục; tác giả đặt ra cho mình nhiệm vụ diễn tả những điều phức tạp nhất trong vật lý học một cách dễ hiểu đối với mọi người, tác giả không dùng bất kỳ một công thức toán học nào, trừ phương trình nổi tiếng của Einstein $E=mc^2$. Nhờ kiến thức uyên bác và tư duy sáng tạo của S. W. Hawking, cuốn sách có một sức hấp dẫn đặc biệt.

Các chương trong cuốn sách có thể được đọc tương đối độc lập với nhau, mỗi chương có thể xem là một tổng quan tuyệt vời về vấn đề tương ứng cho đông đảo độc giả với mọi trình độ.

Cuốn sách này do một nhà vật lý lý thuyết viết nhưng nó thật sự rất bổ ích cho đông đảo bạn đọc, không kể thuộc lĩnh vực hoạt động nào: khoa học tự nhiên, khoa học xã hội, văn hóa, nghệ thuật...

Khi dịch cuốn sách nổi tiếng đã được nhiều nhà khoa học uy tín giới thiệu trên nhiều tạp chí này, chúng tôi, những người dịch, đã cố gắng truyền đạt trung thành các ý tưởng của

S.W. Hawking, nhưng chắc còn phạm nhiều khiếm khuyết, rất mong nhận được nhiều ý kiến đóng góp của bạn đọc.

Cuối cùng, chúng tôi xin bày tỏ sự biết ơn các bạn đồng nghiệp trong Hội Vật lý và Hội Vật lý Toán đã cùng thảo luận làm sáng tỏ nhiều vấn đề và đã giúp đỡ chúng tôi trong quá trình xuất bản cuốn sách nổi tiếng này.

NHỮNG NGƯỜI DỊCH

Lời giới thiệu

Chúng ta sống cuộc sống hàng ngày của chúng ta mà hầu như không hiểu được về thế giới chung quanh. Chúng ta cũng ít khi suy ngẫm về cơ chế đã tạo ra ánh sáng Mặt trời – một yếu tố quan trọng góp phần tạo nên sự sống, về hấp dẫn – cái chất keo đã kết dính chúng ta vào Trái đất mà nếu khác đi chúng ta sẽ xoay tít và trôi dạt vào không gian vũ trụ, về nguyên tử đã cấu tạo nên tất cả chúng ta và chúng ta hoàn toàn lệ thuộc vào sự bền vững của chúng. Chỉ trừ có trẻ em (vì chúng còn biết quá ít để không ngần ngại đặt ra những câu hỏi quan trọng) còn ít ai trong chúng ta tốn thời gian để băn khoăn tại sao tự nhiên lại như thế này mà không như thế khác, vũ trụ ra đời từ đâu, hoặc nó có mãi mãi như thế này không, liệu có một ngày nào đó thời gian sẽ trôi giật lùi, hậu quả có trước nguyên nhân hay không; hoặc có giới hạn cuối cùng cho sự hiểu biết của con người hay không. Thậm chí có những đứa trẻ con, mà tôi có gặp một số, muốn biết lỗ đen là cái gì; cái gì là hạt vật chất nhỏ bé nhất, tại sao chúng ta chỉ nhớ quá khứ mà không nhớ tương lai; và nếu lúc bắt đầu là hỗn loạn thì làm thế nào có sự trật tự như ta thấy hôm nay và tại sao lại có vũ trụ.

Trong xã hội chúng ta các bậc phụ huynh cũng như các thầy giáo vẫn còn thói quen trả lời những câu hỏi đó bằng cách nhún vai hoặc viện đến các giáo lý mơ hồ. Một số các giáo lý ấy lại hoàn toàn không thích hợp với những vấn đề vừa nêu ở trên, bởi vì chúng phơi bày quá rõ những hạn chế sự hiểu biết của con người.

Nhưng rất nhiều môn triết học và khoa học lại ra đời từ những câu lục vấn như vậy. Ngày càng có nhiều người lớn cũng muốn đặt những câu hỏi thuộc loại đó và thi thoảng họ đã nhận được những câu trả lời khá lạ lùng. Nằm trung gian giữa các nguyên tử và các vì sao, chúng ta đang mở rộng chân trời khám phá của chúng ta nhằm bao quát cả những cái rất nhỏ lẫn những cái rất lớn.

Mùa xuân năm 1974, khoảng hai năm trước khi con tầu vũ trụ Viking hạ cánh xuống Hỏa tinh, tôi có tham dự một cuộc họp tổ chức ở Anh, do Hội Hoàng gia London tài trợ, bàn về vấn đề làm thế nào tìm kiếm sự sống ngoài Trái đất. Vào giờ giải lao, tôi thấy một cuộc họp lớn hơn nhiều được tổ chức ở phòng bên cạnh và vì tò mò tôi bước vào xem. Thì ra tôi đang chứng kiến một nghi lễ cổ kính, lễ kết nạp Hội viên mới của Hội Hoàng gia London, một trong những tổ chức học thuật lâu đời nhất của hành tinh chúng ta. Ở hàng trên cùng, một thanh niên ngồi trong xe đẩy đang rất chậm rãi ký tên mình vào cuốn sổ mà ở những trang đầu tiên của nó còn giữ được chữ ký của Isaac Newton. Khi Stephen Hawking, cuối cùng đã ký xong tên mình, những tràng hoan hô như sấm nổi lên, ngay từ lúc đó ông đã là cả một huyền thoại.

Hiện nay, Hawking là giáo sư toán học của trường Đại học Cambridge, với cương vị mà trước đây Newton, rồi sau này P.A.M Dirac – hai nhà nghiên cứu nổi tiếng về những cái cực lớn và những

cái cực nhỏ – đảm nhiệm. Hawking là người kế tục hết sức xứng đáng của họ. Cuốn sách đầu tiên của Hawking dành cho những người không phải là chuyên gia này có thể xem là một phần thưởng về nhiều mặt cho công chúng không chuyên. Cuốn sách vừa hấp dẫn bởi nội dung phong phú của nó vừa bởi nó cho chúng ta một cái nhìn khái quát qua công trình của chính tác giả cuốn sách này. Cuốn sách chứa đựng những khám phá trên những ranh giới của vật lý học, thiên văn học, vũ trụ học và của cả lòng dũng cảm nữa.

Đây cũng là cuốn sách về Thượng đế... hay đúng hơn là về sự không có mặt của Thượng đế. Chữ Thượng đế xuất hiện trên nhiều trang của cuốn sách này. Hawking đã dấn thân đi tìm câu trả lời cho câu hỏi nổi tiếng của Einstein: liệu Thượng đế có sự lựa chọn nào trong việc tạo ra vũ trụ này hay không? Hawking đã nhiều lần tuyên bố một cách công khai rằng ông có ý định tìm hiểu ý nghĩa của Thượng đế. Và từ nỗ lực đó, ông đã rút ra một kết luận bất ngờ nhất, ít nhất là cho đến hiện nay, đó là vũ trụ không có biên trong không gian, không có bắt đầu và kết thúc trong thời gian và chẳng có việc gì cho Đấng sáng thế phải làm ở đây cả.

CARL SAGAN

ĐẠI HỌC CORNELL ITHACA, NEW YORK

Viết cho lần xuất bản đầu tiên của cuốn *Lược sử thời gian*

Lời tựa

Tôi đã không viết lời tựa cho lần xuất bản đầu tiên của cuốn *Lược sử thời gian*. Carl Sagan là người đã làm việc đó. Thay vì, tôi chỉ viết một mẩu với nhan đề "Lời cám ơn" trong đó tôi đã bày tỏ sự cám ơn của tôi với mọi người. Một số quỹ hỗ trợ cho tôi đã không mấy hài lòng được tôi nhắc tới, vì nó dẫn tới sự gia tăng kinh khủng của các đơn xin tài trợ.

Tôi không nghĩ bất kì ai, nhà xuất bản của tôi, người đại diện của tôi hoặc kể cả bản thân tôi nữa, lại có thể kì vọng rằng cuốn sách đã làm được điều gì đó như nó thực sự đã làm. Nó đã nằm trong danh sách *best seller* của tờ *London Times* trong suốt 237 tuần lễ, dài hơn bất cứ một quyển sách nào khác (dĩ nhiên là trừ Kinh Thánh và Shakespeare). Nó đã được dịch ra gần 40 thứ tiếng và trung bình cứ 750 người thì bán được 1 cuốn (gồm cả đàn ông, đàn bà và trẻ em) trên khắp thế giới. Đúng như Nathan Myhrvold thuộc Hãng Microsoft (nguyên là thực tập sinh sau tiến sĩ của tôi) đã nhận xét: tôi đã bán được nhiều sách về vật lý hơn là Madonna đã bán sách về sex.

Thành công của cuốn *Lược sử* đã chỉ ra rằng có một sự quan tâm rất rộng lớn đến những câu hỏi lớn như: Chúng ta từ đâu tới? Và tại sao vũ trụ lại vận hành như nó trên thực tế?

Tôi đã có cơ hội cập nhật và đưa vào cuốn sách những kết quả lý thuyết và quan sát mới nhận được từ khi nó được xuất bản lần đầu tiên (vào ngày 1 tháng 4 năm 1988). Tôi đã đưa vào một chương mới về lỗ sâu đục và sự du hành theo thời gian. Lý thuyết tương đối rộng của Einstein dường như đã mở ra cơ hội để ta tạo ra và duy trì các lỗ sâu đục, tức là các ống nhỏ nối các vùng khác nhau của không-thời gian. Nếu quả như vậy thì chúng ta có thể dùng những lỗ sâu đục đó để du hành nhanh chóng xung quanh một thiên hà hoặc du hành ngược dòng thời gian. Tất nhiên, chúng ta chưa từng thấy ai (hay là đã thấy?) tới từ tương lai, nhưng tôi vẫn thảo luận về một cách giải thích khả dĩ cho điều đó.

Tôi cũng đã mô tả sự tiến bộ đạt được những năm gần đây trong việc tìm kiếm "những sự đối ngẫu" hay những tương ứng giữa các lý thuyết vật lý bề ngoài tưởng như là khác nhau. Những tương ứng này là một chỉ dẫn rất có trọng lượng về sự tồn tại của một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, nhưng chúng cũng gợi ý rằng có lẽ không thể diễn đạt lý thuyết đó theo một cách phát biểu cơ bản duy nhất. Thay vì, trong những tình huống khác nhau, chúng ta cần phải dùng những phản chiếu khác nhau của lý thuyết nằm phía sau. Điều đó cũng tựa như con người chúng ta không thể biểu diễn bề mặt Trái đất trên một bản đồ duy nhất, mà cần phải dùng nhiều bản đồ khác nhau trong các vùng khác nhau. Đây là một cuộc cách mạng trong quan niệm của chúng ta

về sự thống nhất các định luật vật lý, nhưng nó không làm thay đổi một điểm quan trọng nhất: đó là vũ trụ bị chi phối bởi một tập hợp các định luật hợp lý mà chúng ta có thể phát hiện và hiểu được.

Về phía quan sát, cho đến nay phát triển có tầm quan trọng nhất là đo được những thăng giáng trong bức xạ nền vi ba của vũ trụ nhờ vệ tinh COBE (viết tắt của the Cosmic Background Explorer satellite – *vệ tinh thăm dò bức xạ nền vũ trụ*) và các công trình hợp tác khác. Những thăng giáng này là dấu ấn của sự sáng thế, những bất thường nhỏ bé ban đầu trong một vũ trụ đều đặn và trơn tru thuở sơ sinh, sau này lớn lên thành các thiên hà, các ngôi sao và các cấu trúc khác mà chúng ta thấy xung quanh ta. Hình dạng của chúng phù hợp với các tiên đoán của giả thuyết cho rằng vũ trụ không có biên hoặc mép theo hướng thời gian ảo; nhưng vẫn cần những quan sát tiếp theo để phân biệt đề xuất đó với những cách giải thích khả dĩ khác cho các thăng giáng trong bức xạ nền. Tuy nhiên, trong vòng ít năm tới, chúng ta chắc sẽ biết liệu chúng ta có thể tin được rằng chúng ta sống trong một vũ trụ hoàn toàn tự duy trì, không có bắt đầu cũng không có kết thúc hay không.

STEPHEN HAWKING

1.

BỨC TRANH CỦA CHÚNG TA VỀ VŨ TRỤ

Một nhà khoa học nổi tiếng (hình như là Bertrand Russell) một lần đọc trước công chúng một bài giảng về Thiên văn học. Ông đã mô tả Trái đất quay quanh Mặt trời như thế nào và đến lượt mình, Mặt trời lại quay quanh tâm của một quần thể khổng lồ các vì sao – mà người ta gọi là thiên hà – ra sao. Khi bài giảng kết thúc, một bà già nhỏ bé ngồi ở cuối phòng đứng dậy và nói: "Anh nói với chúng tôi chuyện nhảm nhí gì vậy? Thế giới thực tế chỉ là một cái đĩa phẳng tựa trên lưng một con rùa khổng lồ mà thôi". Nhà khoa học mỉm một nụ cười hạ cố trước khi trả lời, "Thế vậy con rùa ấy tựa lên cái gì?", "Anh thông minh lắm, anh bạn trẻ ạ, anh rất thông minh", bà già đó nói, "nhưng những con rùa cứ xếp chồng lên nhau mãi xuống dưới, chứ còn sao nữa".

Chắc có nhiều người cho rằng bức tranh về vũ trụ của chúng ta như một cái thang vô tận gồm những con rùa chồng lên nhau là chuyện khá nực cười, nhưng tại sao chúng ta lại nghĩ rằng chúng ta hiểu biết hơn bà già nhỏ bé kia? Chúng

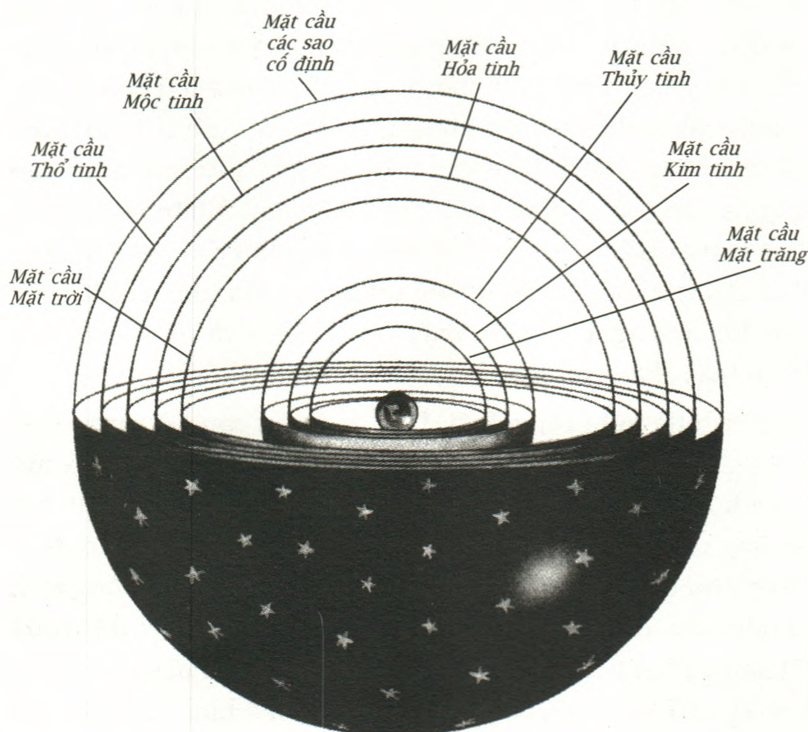
ta đã biết gì về vũ trụ và bằng cách nào chúng ta biết về nó? Vũ trụ tới từ đâu và nó sẽ đi về đâu? Vũ trụ có điểm bắt đầu không và nếu có thì điều gì đã xảy ra trước đó? Bản chất của thời gian là gì? Nó có điểm tận cùng không? Những đột phá mới đây trong vật lý học – một phần nhờ những công nghệ mới tuyệt xảo – đã đưa ra câu trả lời cho một số câu hỏi đã tồn tại dai dẳng từ xa xưa vừa nêu ở trên. Một ngày nào đó, rất có thể câu trả lời này sẽ trở nên hiển nhiên đối với chúng ta như chuyện Trái đất quanh xung quanh Mặt trời hoặc cũng có thể trở nên nực cười như chuyện tháp những con rùa. Chỉ có thời gian (dù cho có thế nào đi nữa) mới có thể phán quyết.

Từ rất xa xưa, khoảng năm 340 trước công nguyên, nhà triết học Hy Lạp Aristotle, trong cuốn sách của ông nhan đề *Về bầu trời*, đã đưa ra hai luận chứng sáng giá chứng minh rằng Trái đất có hình cầu chứ không phải là cái đĩa phẳng. Thứ nhất, ông thấy rằng hiện tượng nguyệt thực là do Trái đất xen vào giữa Mặt trời và Mặt trăng. Mà bóng của Trái đất lên Mặt trăng luôn luôn là tròn, điều này chỉ đúng nếu Trái đất có dạng cầu. Nếu Trái đất là một cái đĩa phẳng thì bóng của nó phải dẹt như hình elip, nếu trong thời gian có nguyệt thực Mặt trời không luôn luôn ở ngay dưới tâm của cái đĩa đó. Thứ hai, từ những chuyến du hành của mình, người Hy Lạp biết rằng sao Bắc đẩu nhìn ở phương Nam dường như thấp hơn khi nhìn ở những vùng phương Bắc! (Bởi vì sao Bắc đẩu nằm ngay sát ở Bắc cực, trong khi đó đối với người quan sát ở xích đạo, nó dường như nằm ngay trên đường chân trời).

Từ sự sai khác về vị trí biểu kiến của sao Bắc đẩu ở Ai Cập

so với ở Hy Lạp, Aristotle thậm chí còn đưa ra một đánh giá về chiều dài con đường vòng quanh Trái đất là 400.000 *stadia*. Hiện nay ta không biết chính xác một *stadia* dài bao nhiêu, nhưng rất có thể nó bằng khoảng 200 thước Anh (1 thước Anh bằng 0,914m - ND). Như vậy ước lượng của Aristotle lớn gần gấp hai lần con số được chấp nhận hiện nay. Những người Hy Lạp thậm chí còn đưa ra một luận chứng thứ ba chứng tỏ rằng Trái đất tròn bởi vì nếu không thì tại sao khi nhìn ra biển, cái đầu tiên mà người ta nhìn thấy là cột buồm và chỉ sau đó mới nhìn thấy thân con tàu?

Aristotle nghĩ rằng Trái đất đứng yên còn Mặt trời, Mặt trăng, các hành tinh và những ngôi sao chuyển động xung quanh nó theo những quỹ đạo tròn. Ông tin vào điều đó bởi vì ông cảm thấy - do những nguyên nhân bí ẩn nào đó - rằng Trái đất là trung tâm của vũ trụ, rằng chuyển động tròn là chuyển động hoàn thiện nhất. Ý tưởng này đã được Ptolemy phát triển thành một mô hình vũ trụ hoàn chỉnh vào thế kỷ thứ hai sau Công nguyên. Theo mô hình này thì Trái đất đứng ở tâm và bao quanh nó là tám mặt cầu tương ứng mang Mặt trăng, Mặt trời, các ngôi sao và năm hành tinh đã biết vào thời gian đó: Thủy tinh, Kim tinh, Hỏa tinh, Mộc tinh và Thổ tinh (Hình 1.1). Chính các hành tinh lại phải chuyển động trên những vòng tròn nhỏ hơn gắn với các mặt cầu tương ứng của chúng để phù hợp với đường đi quan sát được tương đối phức tạp của chúng trên bầu trời. Mặt cầu ngoài cùng mang các thiên thể được gọi là các ngôi sao cố định, chúng luôn luôn ở những vị trí cố định đối với nhau, nhưng lại cùng nhau quay ngang qua bầu trời. Bên ngoài mặt cầu cuối cùng đó là cái gì thì mô hình đó không bao giờ nói một



Hình 1.1

cách rõ ràng, nhưng chắc chắn nó cho rằng đó là phần của vũ trụ mà con người không thể quan sát được.

Mô hình của Ptolemy đã tạo ra được một hệ thống tương đối chính xác để tiên đoán vị trí của các thiên thể trên bầu trời. Nhưng để tiên đoán những vị trí đó một cách hoàn toàn chính xác, Ptolemy đã phải đưa ra giả thuyết rằng Mặt trăng chuyển động theo một quĩ đạo đôi khi đưa nó tới gần Trái đất tới hai lần nhỏ hơn so với ở những thời điểm khác. Ptolemy

đành phải chấp nhận điểm yếu đó, nhưng dầu sao về đại thể, chứ không phải toàn thể, là có thể chấp nhận được. Mô hình này đã được nhà thờ Thiên chúa giáo chuẩn y như một bức tranh về vũ trụ phù hợp với kinh thánh, bởi vì nó có một ưu điểm rất lớn là để dành khá nhiều chỗ ở ngoài mặt cầu cuối cùng của các ngôi sao cố định cho thiên đường và địa ngục.

Tuy nhiên, một mô hình đơn giản hơn đã được một mục sư người Ba Lan, tên là Nicholas Copernicus đề xuất vào năm 1554. (Thoạt đầu, có lẽ vì sợ nhà thờ qui là dị giáo, Copernicus đã cho lưu hành mô hình của mình như một tác phẩm khuyết danh). Ý tưởng của ông là Mặt trời đứng yên, còn Trái đất và các hành tinh chuyển động theo những quỹ đạo tròn xung quanh Mặt trời. Phải mất gần một thế kỷ trôi qua, ý tưởng này mới được chấp nhận một cách thực sự. Hai nhà thiên văn – một người Đức tên là Johannes Kepler và một người Italia tên là Galileo Galilei – đã bắt đầu công khai ủng hộ học thuyết Copernicus, tuy những quỹ đạo mà nó tiên đoán chưa ăn khớp hoàn toàn với những quỹ đạo quan sát được. Và vào năm 1609 một đòn chí mạng đã giáng xuống học thuyết Aristotle - Ptolemy. Vào năm đó, Galileo bắt đầu quan sát bầu trời bằng chiếc kính thiên văn ông vừa phát minh ra. Khi quan sát Mộc tinh, Galileo thấy kèm theo nó còn có một số vệ tinh hay nói cách khác là những mặt trăng quay xung quanh nó. Điều này ngụ ý rằng không phải mọi thiên thể đều nhất thiết phải trực tiếp quay xung quanh Trái đất, như Aristotle và Ptolemy đã nghĩ. (Tất nhiên vẫn có thể tin rằng Trái đất đứng yên ở trung tâm của vũ trụ và các mặt trăng của Mộc tinh chuyển động theo những quỹ đạo cực kỳ phức tạp khiến ta có cảm tưởng như nó quay quanh Mộc

tinh. Tuy nhiên, học thuyết của Copernicus đơn giản hơn nhiều). Cùng thời gian đó, Kepler đã cải tiến học thuyết Copernicus bằng cách đưa ra giả thuyết rằng các hành tinh không chuyển động theo đường tròn mà theo đường elip. Và những tiên đoán ấy bây giờ hoàn toàn ăn khớp với quan sát.

Đối với Kepler, các quỹ đạo elip đơn giản chỉ là một giả thuyết tiện lợi và chính thế nó càng khó chấp nhận bởi vì các elip rõ ràng là kém hoàn thiện hơn các vòng tròn. Khi phát hiện thấy gần như một cách ngẫu nhiên rằng các quỹ đạo elip rất ăn khớp với quan sát, Kepler không sao dung hòa được nó với ý tưởng của ông cho rằng các hành tinh quay quanh Mặt trời là do các lực từ. Điều này phải mãi tới sau này, vào năm 1687, mới giải thích được, khi Isaac Newton công bố tác phẩm *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Những nguyên lý toán học của triết học tự nhiên) của ông. Có lẽ đây là công trình vật lý quan trọng bậc nhất đã được xuất bản từ trước đến nay. Trong công trình này, Newton không chỉ đưa ra một lý thuyết mô tả sự chuyển động của các vật trong không gian và thời gian, mà ông còn phát triển một công cụ toán học phức tạp dùng để phân tích các chuyển động đó. Hơn thế nữa, Newton còn đưa ra một định luật về hấp dẫn vũ trụ mà theo đó mỗi một vật trong vũ trụ đều được hút tới một vật khác bằng một lực càng mạnh nếu hai vật càng nặng và càng ở gần nhau. Chính lực này đã buộc các vật phải rơi xuống đất. (Câu chuyện kể rằng do có quả táo rơi trúng đầu mà Newton đã cảm hứng phát minh ra định luật vạn vật hấp dẫn chắc chắn chỉ là chuyện thêu dệt. Tất cả những điều mà chính Newton nói ra chỉ là: ý tưởng về hấp dẫn đến với ông khi ông đang ngồi ở "trạng thái chiêm

nghiệm" và "được nảy sinh bởi sự rơi của quả táo"). Newton đã chỉ ra rằng theo định luật của ông, lực hấp dẫn sẽ làm cho Mặt trăng chuyển động theo quỹ đạo elip xung quanh Trái đất và các hành tinh chuyển động theo quỹ đạo elip xung quanh Mặt trời.

Mô hình Copernicus đã vứt bỏ những thiên cầu của Ptolemy và cùng với chúng vứt bỏ luôn cả ý tưởng cho rằng vũ trụ có một biên giới tự nhiên. Vì "những ngôi sao cố định" dường như không thay đổi vị trí của chúng trừ sự quay xung quanh bầu trời do Trái đất quay xung quanh trục của nó, nên sẽ là hoàn toàn tự nhiên nếu giả thiết rằng các ngôi sao cố định là những thiên thể giống như Mặt trời của chúng ta, nhưng ở xa hơn rất nhiều. Căn cứ vào lý thuyết hấp dẫn của mình Newton thấy rằng do các ngôi sao hút nhau nên về căn bản chúng không thể là đứng yên được. Vậy liệu chúng có cùng rơi vào một điểm nào đó không? Trong bức thư viết năm 1691 gửi Richard Bentley, cũng là một nhà tư tưởng lỗi lạc thời đó, Newton đã chứng tỏ rằng điều đó thực tế có thể xảy ra nếu chỉ có một số hữu hạn các ngôi sao được phân bố trong một vùng hữu hạn của không gian. Nhưng mặt khác, ông cũng chỉ ra rằng nếu có một số vô hạn các ngôi sao được phân bố tương đối đồng đều trong không gian vô tận thì điều đó không thể xảy ra được, bởi vì khi đó sẽ không có điểm nào là trung tâm để cho chúng rơi vào. Luận chứng này là một ví dụ về những cái bẫy mà ta có thể gặp khi nói về sự vô hạn. Trong vũ trụ vô hạn mỗi một điểm đều có thể được xem là một tâm, bởi mỗi một điểm đều có một số vô hạn các ngôi sao ở mỗi phía của nó. Cách tiếp cận đúng đắn – mà điều này phải mãi sau này mới có – là phải xem xét một tình trạng hữu

hạn trong đó tất cả các ngôi sao sẽ rơi vào nhau và sau đó đặt câu hỏi tình hình sẽ thay đổi như thế nào nếu ta thêm vào một số ngôi sao nữa được phân bố gần như đồng đều ở ngoài vùng đang xét. Theo định luật Newton thì về trung bình những ngôi sao mới thêm vào này cũng hoàn toàn không làm được điều gì khác với những ngôi sao ban đầu, tức là chúng cũng rơi nhanh như vậy. Chúng ta có thể thêm vào bao nhiêu ngôi sao tùy ý, nhưng chúng cũng sẽ vẫn rơi sập vào nhau. Bây giờ thì chúng ta hiểu rằng không thể có một mô hình tĩnh vô hạn của vũ trụ trong đó hấp dẫn luôn là lực hút.

Đây là sự phản ánh lý thú về bầu không khí tư tưởng chung của giai đoạn trước thế kỷ hai mươi, trong đó không có một ai nghĩ rằng vũ trụ đang giãn nở hoặc đang co lại. Mọi người đều thừa nhận rằng hoặc vũ trụ tồn tại vĩnh cửu trong trạng thái không thay đổi hoặc nó được tạo ra ở một thời điểm hữu hạn trong quá khứ đã gần giống như chúng ta quan sát thấy hiện nay. Điều này có thể một phần là do thiên hướng của con người muốn tin vào những sự thật vĩnh cửu cũng như sự tiện lợi mà họ tìm thấy trong ý nghĩ rằng vũ trụ là vĩnh cửu và không thay đổi, mặc dù ngay bản thân họ cũng có thể già đi và chết.

Thậm chí ngay cả những người thấy rằng lý thuyết hấp dẫn của Newton chứng tỏ vũ trụ không thể là tĩnh, cũng không nghĩ tới chuyện cho rằng nó có thể đang giãn nở. Thay vì thế, họ lại có ý định cải biến lý thuyết này bằng cách làm cho lực hấp dẫn trở thành lực đẩy ở những khoảng cách rất lớn. Điều này không có ảnh hưởng đáng kể đến những tiên đoán của họ về chuyển động của các hành tinh, nhưng cho phép sự phân bố vô hạn của các ngôi sao còn ở trạng thái

cân bằng: những lực hút của các ngôi sao ở gần nhau sẽ được cân bằng bởi lực đẩy từ các ngôi sao ở rất xa. Tuy nhiên, ngày nay chúng ta biết chắc chắn rằng sự cân bằng đó là không bền: nếu những ngôi sao ở một vùng nào đó chỉ cần xích lại gần nhau một chút là lực hút giữa chúng sẽ mạnh hơn và lấn át lực đẩy và thế là các ngôi sao sẽ lại tiếp tục rơi vào nhau. Mặt khác, nếu những ngôi sao dịch ra xa nhau một chút là lực đẩy sẽ lại lấn át và các ngôi sao sẽ chuyển động ra xa nhau.

Một phản bác nữa đối với mô hình vũ trụ tĩnh vô hạn thường được gán cho nhà triết học người Đức Henrich Olbers, người viết về lý thuyết này vào năm 1823. Thực tế thì rất nhiều người đương thời của Newton đã nêu ra vấn đề này và bài báo của Olbers thậm chí cũng không phải là bài đầu tiên chứa đựng những lý lẽ hợp lý chống lại nó. Tuy nhiên, đây là bài báo đầu tiên được nhiều người chú ý. Khó khăn là ở chỗ trong một vũ trụ tĩnh vô hạn thì gần như mỗi một đường ngắm đều kết thúc trên bề mặt của một ngôi sao nào đó. Như thế thì toàn bộ bầu trời sẽ phải sáng chói như Mặt trời, thậm chí cả ban đêm. Lý lẽ phản bác của Olbers cho rằng ánh sáng từ các ngôi sao xa sẽ bị mờ nhạt đi do sự hấp thụ của vật chất xen giữa các ngôi sao. Tuy nhiên, dù cho điều đó có xảy ra đi nữa thì vật chất xen giữa cuối cùng sẽ nóng lên cho đến khi cũng phát sáng như những ngôi sao. Con đường duy nhất tránh được kết luận cho rằng toàn bộ bầu trời đêm cũng sáng chói như bề mặt Mặt trời là phải giả thiết rằng các ngôi sao không phát sáng vĩnh viễn mà chỉ bật sáng ở một thời điểm hữu hạn nào đó trong quá khứ. Trong trường hợp đó, vật chất hấp thụ còn chưa thể đủ nóng hay ánh sáng

từ các ngôi sao xa chưa kịp tới chúng ta. Và điều này lại đặt ra cho chúng ta một câu hỏi: vậy cái gì đã làm cho các ngôi sao bật sáng đầu tiên?

Sự bắt đầu của vũ trụ, tất nhiên, đã được người ta thảo luận từ trước đó rất lâu. Theo một số lý thuyết về vũ trụ có từ xa xưa và theo truyền thống của người Do Thái/Thiên Chúa giáo/Hồi giáo thì vũ trụ bắt đầu có từ một thời điểm hữu hạn, nhưng chưa thật quá xa trong quá khứ. Một lý lẽ chứng tỏ có sự bắt đầu đó là cảm giác cần phải có cái "Nguyên nhân đầu tiên" để giải thích sự tồn tại của vũ trụ (Trong vũ trụ, bạn luôn luôn giải thích một sự kiện như là được gây ra bởi một sự kiện khác xảy ra trước đó, nhưng sự tồn tại của chính bản thân vũ trụ cũng có thể được giải thích bằng cách đó chỉ nếu nó có sự bắt đầu). Một lý lẽ nữa do St.Augustine đưa ra trong cuốn sách của ông nhan đề *Thành phố của Chúa*. Ông chỉ ra rằng nền văn minh còn đang tiến bộ và chúng ta vẫn còn nhớ được ai là người đã thực hiện kỳ công này hoặc ai đã phát triển kỹ thuật kia. Như vậy con người và cũng có lẽ cả vũ trụ nữa đều chưa thể trải nghiệm được quá lâu dài. Và ông đã thừa nhận ngày ra đời của vũ trụ vào khoảng 5000 năm trước Công nguyên, phù hợp với sách *Sáng thế ký* (quyển đầu của Kinh Cựu ước - ND). (Điều lý thú là thời điểm đó không quá xa thời điểm kết thúc của thời kỳ băng giá cuối cùng, khoảng 10.000 năm trước Công nguyên, thời điểm mà các nhà khảo cổ nói với chúng ta rằng nền văn minh thực sự bắt đầu).

Mặt khác, Aristotle và các triết gia Hy Lạp khác lại không thích ý tưởng về sự Sáng thế vì nó dính líu quá nhiều tới sự can thiệp của thần thánh. Do đó họ tin rằng loài người và thế

giới xung quanh nó đã tồn tại và sẽ còn tồn tại mãi mãi. Những người cổ đại đã xem xét lý lẽ nêu ở trên về sự tiến bộ và họ giải đáp như sau: đã có nhiều nạn hồng thủy hoặc các tai họa khác một cách định kỳ và chúng cũng định kỳ đưa loài người tụt lại điểm bắt đầu của nền văn minh.

Những câu hỏi: vũ trụ có điểm bắt đầu trong thời gian và có bị giới hạn trong không gian hay không sau này đã được nhà triết học Immannuel Kant xem xét một cách bao quát trong cuốn *Phê phán lý tính thuần túy*, một công trình vĩ đại (và rất tối nghĩa) của ông, được xuất bản năm 1781. Ông gọi những câu hỏi đó là sự tự mâu thuẫn của suy lý thuần túy, bởi vì ông cảm thấy có những lý lẽ với sức thuyết phục như nhau để tin vào luận đề cho rằng vũ trụ có điểm bắt đầu, cũng như vào phản đề cho rằng vũ trụ đã tồn tại mãi mãi. Lý lẽ của ông bênh vực luận đề là: nếu như vũ trụ không có điểm bắt đầu thì trước bất kỳ một sự kiện nào cũng có một khoảng thời gian vô hạn, điều mà ông cho là vô lý! Lý lẽ của ông để bảo vệ phản đề là: nếu vũ trụ có điểm bắt đầu, thì sẽ có một khoảng thời gian vô hạn trước nó, vậy thì tại sao vũ trụ lại bắt đầu ở một thời điểm đặc biệt nào đó? Sự thật thì những trường hợp ông đưa ra cho cả luận đề và phản đề đều chỉ là một lý lẽ mà thôi. Cả hai đều dựa trên một giả thiết không nói rõ ra cho rằng thời gian lùi vô tận về phía sau bất kể vũ trụ có tồn tại mãi mãi hay không. Như chúng ta sẽ thấy sau này, khái niệm thời gian mất ý nghĩa trước thời điểm bắt đầu của vũ trụ. St.Augustine là người đầu tiên đã chỉ ra điều đó. Khi được hỏi: Chúa đã làm gì trước khi Người sáng tạo ra thế giới? Ông không đáp: Người đang tạo ra Địa ngục cho những kẻ đặt ra những câu hỏi như vậy. Thay vì thế, ông nói

rằng thời gian là một tính chất của vũ trụ mà Chúa đã tạo ra và thời gian không tồn tại trước khi vũ trụ bắt đầu.

Khi mà số đông tin rằng vũ trụ về căn bản là tĩnh và không thay đổi thì câu hỏi nó có điểm bắt đầu hay không thực tế chỉ là một câu hỏi của siêu hình học hoặc thần học. Người ta có thể viện lẽ rằng những điều quan sát được đều phù hợp tốt như nhau với lý thuyết cho rằng nó bắt đầu vận động ở một thời điểm hữu hạn nào đó theo cách sao cho dường như là nó đã tồn tại mãi mãi. Nhưng vào năm 1929, Edwin Hubble đã thực hiện một quan sát có tính chất là một cột mốc cho thấy dù bạn nhìn ở đâu thì những thiên hà xa xôi cũng đang chuyển động rất nhanh ra xa chúng ta. Nói một cách khác, vũ trụ đang giãn nở ra. Điều này có nghĩa là ở những thời gian trước kia các thiên thể ở gần nhau hơn. Thực tế, dường như là có một thời, mười hoặc hai mươi tỷ năm về trước, tất cả chúng đều chính xác ở cùng một chỗ và do đó mật độ của vũ trụ khi đó là vô hạn. Phát minh này cuối cùng đã đưa câu hỏi về sự bắt đầu của vũ trụ vào địa hạt của khoa học.

Nhưng quan sát của Hubble đã gợi ý rằng có một thời điểm, được gọi là Vụ nổ lớn (Big Bang), tại đó vũ trụ vô cùng nhỏ và vô cùng đặc (mật độ vô hạn). Dưới những điều kiện như vậy, tất cả các định luật khoa học và do đó mọi khả năng tiên đoán tương lai đều không dùng được.

Nếu có những sự kiện ở trước điểm đó thì chúng không thể ảnh hưởng tới những cái đang xảy ra ở hiện tại. Do đó, sự tồn tại của chúng có thể bỏ qua bởi vì nó không có những hậu quả quan sát được. Người ta có thể nói rằng thời gian có điểm bắt đầu ở Vụ nổ lớn, theo nghĩa là những thời điểm trước đó

không thể xác định được. Cũng cần nhấn mạnh rằng sự bắt đầu này của thời gian rất khác với những sự bắt đầu đã được xem xét trước đó. Trong vũ trụ tĩnh không thay đổi, sự bắt đầu của thời gian là cái gì đó được áp đặt bởi một Đấng ở ngoài vũ trụ, chứ không có một yếu tố vật lý nào cho sự bắt đầu đó cả. Người ta có thể tưởng tượng Chúa tạo ra thế giới ở bất kỳ một thời điểm nào trong quá khứ. Trái lại, nếu vũ trụ giãn nở thì có những nguyên nhân vật lý để cần phải có sự bắt đầu. Tuy nhiên, người ta vẫn còn có thể tưởng tượng Chúa đã tạo ra thế giới ở đúng thời điểm Vụ nổ lớn hoặc thậm chí sau đó theo cách sao cho dường như có Vụ nổ lớn, nhưng sẽ là vô nghĩa nếu cho rằng vũ trụ được tạo ra trước Vụ nổ lớn. Một vũ trụ giãn nở không loại trừ Đấng sáng tạo, nhưng nó đặt ra những hạn chế khi Người cần thực hiện công việc của mình!

Để nói về bản chất của vũ trụ và thảo luận vấn đề như nó có điểm bắt đầu hoặc kết thúc hay không, các bạn cần phải hiểu rõ một lý thuyết khoa học là như thế nào. Ở đây tôi sẽ lấy một quan niệm mộc mạc cho rằng lý thuyết chỉ là một mô hình về vũ trụ hoặc về một phần hạn chế nào đó của nó cùng với tập hợp những qui tắc liên hệ các đại lượng của mô hình với các quan sát mà chúng ta sẽ thực hiện. Tất nhiên lý thuyết chỉ tồn tại trong đầu óc chúng ta chứ không có một thực tại nào khác (dù nó có thể có ý nghĩa gì đi nữa). Một lý thuyết được xem là tốt nếu nó thoả mãn hai yêu cầu: nó phải mô tả chính xác một lớp rộng lớn những quan sát trên cơ sở của mô hình chỉ chứa một số ít những phần tử tùy ý và nó phải đưa ra được những tiên đoán về các quan sát trong tương lai. Ví dụ, lý thuyết của Aristotle cho rằng mọi vật đều được cấu tạo

nên từ bốn yếu tố: đất, không khí, lửa và nước. Nó có ưu điểm là khá đơn giản nhưng lại không đưa ra được một tiên đoán xác định nào. Trong khi đó, lý thuyết của Newton về hấp dẫn dựa trên một mô hình thậm chí còn đơn giản hơn, trong đó các vật hút nhau bởi một lực tỷ lệ với một đại lượng gọi là khối lượng của vật và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng. Thế nhưng nó lại tiên đoán được những chuyển động của Mặt trời, Mặt trăng và các hành tinh với một độ chính xác cao.

Bất kỳ một lý thuyết vật lý nào cũng chỉ là tạm thời, theo nghĩa nó chỉ là một giả thuyết: bạn sẽ không khi nào có thể chứng minh được nó. Dù cho những kết quả thực nghiệm phù hợp với một lý thuyết vật lý bao nhiêu lần đi nữa, bạn cũng không bao giờ đảm bảo được chắc chắn rằng kết quả thực nghiệm lần tới sẽ không mâu thuẫn với lý thuyết. Trong khi đó, để có thể bác bỏ một lý thuyết bạn chỉ cần tìm ra một quan sát không phù hợp với tiên đoán của lý thuyết đó. Như nhà triết học của khoa học Karl Popper đã nhấn mạnh, một lý thuyết tốt được đặc trưng bởi điều là: nó đưa ra được nhiều tiên đoán mà về nguyên tắc có thể bác bỏ bởi quan sát. Mỗi một lần thực nghiệm mới còn phù hợp với những tiên đoán thì lý thuyết còn sống sót và niềm tin của chúng ta vào nó lại được tăng thêm, nhưng nếu thậm chí chỉ cần có một quan sát mới tỏ ra không phù hợp, là chúng ta sẽ phải vứt bỏ hoặc phải sửa đổi lý thuyết đó. Ít nhất đó là điều được xem là sẽ xảy ra, nhưng bạn cũng luôn luôn có thể đặt vấn đề về thẩm quyền của người thực hiện quan sát đó.

Trên thực tế, điều thường hay xảy ra là một lý thuyết mới thực ra chỉ là sự mở rộng của lý thuyết trước. Ví dụ, những

quan sát rất chính xác về hành tinh Thủy (mà ta quen gọi là sao Thủy - ND) đã cho thấy sự sai khác nhỏ giữa chuyển động của nó và những tiên đoán của lý thuyết hấp dẫn của Newton. Sự thật trong đó những tiên đoán của Einstein hoàn toàn ăn khớp với quan sát, trong khi những tiên đoán của Newton chưa đạt được điều đó – là một trong những khẳng định có tính chất quyết định đối với lý thuyết mới. Tuy nhiên, chúng ta vẫn còn thường xuyên sử dụng lý thuyết của Newton cho những mục đích thực tiễn, bởi vì sự khác biệt giữa những tiên đoán của nó và của thuyết tương đối rộng là rất nhỏ trong những tình huống mà chúng ta gặp thường ngày. (Lý thuyết của Newton cũng còn có một ưu điểm lớn là nó dễ sử dụng hơn lý thuyết của Einstein nhiều).

Mục đích tối hậu của khoa học là tạo ra được một lý thuyết duy nhất có khả năng mô tả được toàn bộ vũ trụ. Tuy nhiên, cách tiếp cận mà phần đông các nhà khoa học thực sự theo đuổi là tách vấn đề này ra làm hai phần. Thứ nhất là những quy luật cho biết vũ trụ sẽ thay đổi như thế nào theo thời gian. (Nếu chúng ta biết ở một thời điểm nào đó vũ trụ là như thế nào thì các định luật vật lý sẽ cho chúng ta biết nó sẽ ra sao ở bất kỳ thời điểm nào tiếp sau). Thứ hai là vấn đề về trạng thái ban đầu của vũ trụ. Một số người cảm thấy rằng có lẽ khoa học chỉ nên quan tâm tới phần thứ nhất; họ xem vấn đề về trạng thái ban đầu của vũ trụ là vấn đề của siêu hình học hoặc của tôn giáo. Họ cho rằng Chúa, Đấng toàn năng, có thể cho vũ trụ bắt đầu theo bất cứ cách nào mà Ngài muốn. Cũng có thể là như vậy, nhưng trong trường hợp đó Ngài cũng có thể làm cho vũ trụ phát triển một cách hoàn toàn tùy ý. Nhưng hóa ra Ngài lại chọn cách làm cho vũ trụ

tiến triển một cách rất qui củ phù hợp với một số qui luật. Vì vậy cũng sẽ là hợp lý nếu giả thuyết rằng cũng có những qui luật chi phối trạng thái ban đầu.

Thực ra, rất khó có thể xây dựng được một lý thuyết mô tả được toàn bộ vũ trụ trong tổng thể của nó. Thay vì thế, chúng ta phân bài toán thành từng phần và từ đó phát minh ra nhiều lý thuyết có tính chất riêng phần. Mỗi một lý thuyết như thế mô tả và tiên đoán chỉ được một lớp hạn chế những quan sát, trong khi phải bỏ qua ảnh hưởng của những đại lượng khác hoặc biểu diễn chúng bằng một tập hợp đơn giản các con số. Cũng có thể cách tiếp cận này là hoàn toàn sai lầm. Nếu mọi vật trong vũ trụ phụ thuộc vào nhau một cách căn bản, thì sẽ không thể tiếp cận lời giải đầy đủ bằng cách nghiên cứu các phần của bài toán một cách riêng rẽ, cô lập. Tuy nhiên, đó chắc chắn là cách mà chúng ta đã làm ra sự tiến bộ trong quá khứ. Một ví dụ kinh điển lại là lý thuyết hấp dẫn của Newton. Lý thuyết này nói với chúng ta rằng lực hấp dẫn giữa hai vật chỉ phụ thuộc vào một con số gắn liền với mỗi vật – đó là khối lượng của chúng, nhưng lại hoàn toàn độc lập với chuyện vật đó được làm bằng chất gì. Như vậy, người ta không cần phải có một lý thuyết về cấu trúc và thành phần của Mặt trời và các hành tinh mà vẫn tính được quĩ đạo của chúng. Ngày nay, các nhà khoa học mô tả vũ trụ dựa trên hai lý thuyết cơ sở có tính chất riêng phần, đó là thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Hai lý thuyết đó là những thành tựu trí tuệ vĩ đại của nửa đầu thế kỷ này. Lý thuyết tương đối rộng mô tả lực hấp dẫn và cấu trúc cực vĩ của vũ trụ, – cấu trúc với qui mô từ ít dặm đến triệu, triệu, triệu triệu (1 và hai mươi bốn số không tiếp sau) dặm tức

là kích thước của vũ trụ quan sát được. Trái lại, cơ học lượng tử lại mô tả những hiện tượng ở phạm vi cực kỳ nhỏ, cỡ một phần triệu triệu của một insơ. Tuy nhiên, không may, hai lý thuyết này lại không tương thích với nhau – nghĩa là cả hai không thể đều đồng thời đúng. Một trong những nỗ lực chủ yếu trong vật lý học ngày nay và cũng là đề tài chủ yếu của cuốn sách này, đó là tìm kiếm một lý thuyết mới có thể dung nạp cả hai lý thuyết trên – lý thuyết lượng tử của hấp dẫn. Hiện chúng ta còn chưa có một lý thuyết như vậy và có thể còn lâu mới có được, nhưng chúng ta đã biết được nhiều tính chất mà lý thuyết đó cần phải có. Và như chúng ta sẽ thấy trong các chương sau, chúng ta cũng đã biết khá nhiều về những tiên đoán mà lý thuyết lượng tử của hấp dẫn cần phải đưa ra.

Bây giờ, nếu bạn đã tin rằng vũ trụ không phải là tùy tiện mà được điều khiển bởi những quy luật xác định thì điều tối hậu là cần phải kết hợp những lý thuyết riêng phần thành một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh có khả năng mô tả được mọi điều trong vũ trụ. Nhưng trong quá trình tìm kiếm một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh như vậy, lại vấp phải một nghịch lý rất cơ bản. Những ý niệm về các lý thuyết khoa học được phác ra ở trên xem rằng chúng ta là những sinh vật có lý trí tự do quan sát vũ trụ theo ý chúng ta và rút ra những suy diễn logic từ những cái mà chúng ta nhìn thấy. Trong một sơ đồ như thế, sẽ là hợp lý nếu cho rằng chúng ta có thể ngày càng tiến gần tới các qui luật điều khiển vũ trụ. Nhưng nếu quả thực có một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, thì nó cũng có thể quyết định những hành động của chúng ta. Và như vậy tự bản thân lý thuyết đó sẽ quyết định kết quả việc

tìm kiếm lý thuyết ấy của chúng ta! Hơn nữa, tại sao nó quyết định rằng chúng ta sẽ đi tới những kết luận đúng từ những điều quan sát được? Hay là tại sao nó không thể quyết định để chúng ta rút ra những kết luận sai? Hay là không có một kết luận nào hết?

Câu trả lời duy nhất mà tôi có thể đưa ra cho vấn đề này là dựa trên nguyên lý chọn lọc tự nhiên của Darwin. Ý tưởng đó như sau: trong bất cứ một quần thể nào của các cơ thể tự sinh sản, cũng đều có những biến đổi trong vật liệu di truyền và sự giáo dưỡng, khiến cho có các cá thể khác nhau. Sự khác nhau đó có nghĩa là một số cá thể có khả năng hơn những cá thể khác trong việc rút ra những kết luận đúng về thế giới quanh mình và biết hành động một cách phù hợp. Những cá thể này có sức sống và sinh sản mạnh hơn và vì thế kiểu mẫu hành vi và suy nghĩ của họ sẽ dần chiếm ưu thế. Trong quá khứ, đúng là những cái mà chúng ta gọi là trí tuệ và phát minh khoa học đã truyền được cái lợi thế sống sót của con người. Nhưng còn chưa rõ ràng là liệu điều đó có còn đúng trong trường hợp khi mà những phát minh khoa học của chúng ta có thể sẽ tiêu diệt tất cả chúng ta và thậm chí nếu không xảy ra điều đó, thì một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh cũng có thể không làm khác đi bao nhiêu cơ hội sống sót của chúng ta. Tuy nhiên, với điều kiện vũ trụ đã tiến triển một cách quy củ, chúng ta có thể hy vọng rằng những khả năng suy luận mà sự chọn lọc tự nhiên đã ban cho chúng ta vẫn còn đắc dụng trong cuộc tìm kiếm một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh và sẽ không dẫn chúng ta tới những kết luận sai lầm.

Vì những lý thuyết riêng phần mà chúng ta có đã đủ để đưa ra những tiên đoán về tất cả, trừ những tình huống cực đoan nhất, nên việc tìm kiếm một lý thuyết tối hậu về vũ trụ khó có thể biện minh trên cơ sở những ứng dụng thực tiễn. (Tuy nhiên, cần phải thấy rằng chính lý lẽ tương tự đã được đưa ra để chống lại thuyết tương đối và cơ học lượng tử, trong khi chính những lý thuyết này đã mang lại cho chúng ta cả năng lượng hạt nhân lẫn cuộc cách mạng vi điện tử !). Do đó sự phát minh ra lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh có thể không giúp gì cho sự sống sót của chúng ta. Nó thậm chí cũng có thể không ảnh hưởng gì đến lối sống của chúng ta. Nhưng ngay từ buổi bình minh của nền văn minh, loài người đã không bằng lòng nhìn những sự kiện như những thứ rời rạc và không giải thích được. Họ đã khao khát hiểu biết cái trật tự nằm sâu kín trong thế giới. Ngày hôm nay chúng ta cũng vẫn trăn trở muốn biết tại sao chúng ta lại ở đây và chúng ta từ đâu tới. Khát vọng tri thức, khát vọng sâu xa nhất của loài người, đủ để biện minh cho sự tìm kiếm liên tục của chúng ta. Và mục đích của chúng ta không gì khác hơn là sự mô tả đầy đủ vũ trụ, nơi chúng ta đang sống.

2.

KHÔNG GIAN VÀ THỜI GIAN

Những ý niệm của chúng ta hiện nay về chuyển động của các vật bắt nguồn từ Galileo và Newton. Trước họ, người ta tin Aristotle, người đã nói trạng thái tự nhiên của một vật là đứng yên và nó chuyển động chỉ dưới tác dụng của một lực hoặc một xung lực. Từ đó suy ra rằng vật nặng sẽ rơi nhanh hơn vật nhẹ bởi vì nó có một lực kéo xuống đất lớn hơn.

Truyền thống Aristotle cũng cho rằng người ta có thể rút ra tất cả những định luật điều khiển vũ trụ chỉ bằng tư duy thuần túy, nghĩa là không cần phải kiểm tra bằng quan sát. Như vậy, cho tới tận Galileo không có ai băn khoăn thử quan sát xem có thực là các vật có trọng lượng khác nhau sẽ rơi với vận tốc khác nhau hay không. Người ta kể rằng Galileo đã chứng minh niềm tin của Aristotle là sai bằng cách thả những vật có trọng lượng khác nhau từ tháp nghiêng Pisa. Câu chuyện này chắc hẳn là không có thật, nhưng Galileo đã làm một việc tương đương: ông thả những viên bi có trọng lượng khác nhau trên một mặt phẳng nghiêng nhẵn. Tình huống ở

đây cũng tương tự như tình huống của các vật rơi theo phương thẳng đứng nhưng có điều nó dễ quan sát hơn vì vận tốc của các vật nhỏ hơn. Các phép đo của Galileo chỉ ra rằng các vật tăng tốc theo một nhịp độ như nhau bất kể trọng lượng của chúng bằng bao nhiêu. Ví dụ, nếu bạn thả một viên bi trên một mặt phẳng nghiêng có độ nghiêng sao cho cứ 10m dọc theo mặt phẳng có độ cao giảm 1m, thì viên bi sẽ lăn xuống với vận tốc 1m/s sau một giây, 2m/s sau 2 giây... bất kể viên bi nặng nhẹ thế nào. Tất nhiên, viên bi bằng chì sẽ rơi nhanh hơn một chiếc lông chim, nhưng chiếc lông bị làm chậm lại chỉ vì sức cản không khí, còn nếu thả hai vật không chịu nhiều sức cản không khí tỷ dụ như hai viên bi đều bằng chì, nhưng có trọng lượng khác nhau, thì chúng sẽ rơi nhanh như nhau.

Trên Mặt trăng nơi không có không khí để làm chậm chuyển động của các vật rơi, nhà du hành vũ trụ David R. Scott đã tiến hành một thực nghiệm với lông chim và thỏi chì và tìm thấy rằng, quả thật, chúng rơi xuống đất cùng một lúc.

Những phép đo của Galileo đã được Newton sử dụng làm cơ sở cho các định luật về chuyển động của ông. Trong những thực nghiệm của Galileo, khi một vật lăn trên mặt phẳng nghiêng, nó luôn luôn chịu tác dụng của cùng một lực (là trọng lực của nó) và kết quả là làm cho vận tốc của nó tăng một cách đều đặn. Điều đó chứng tỏ rằng hậu quả thực sự của một lực là luôn luôn làm thay đổi vận tốc của vật, chứ không phải là làm cho nó chuyển động như người ta nghĩ trước đó. Điều này cũng có nghĩa là bất cứ khi nào vật không chịu tác dụng của một lực nào thì nó vẫn tiếp tục chuyển động thẳng với cùng một vận tốc. Ý tưởng này đã được phát

biểu một cách tường minh lần đầu tiên trong cuốn *Principia Mathematica* (Các nguyên lý toán học) được Newton công bố năm 1687 và sau này được biết như định luật thứ nhất của Newton. Định luật thứ hai của Newton cho biết điều gì sẽ xảy ra đối với một vật khi có lực tác dụng lên nó. Định luật này phát biểu rằng vật sẽ có gia tốc, hay nói cách khác là sẽ thay đổi vận tốc, tỷ lệ với lực tác dụng lên nó. (Ví dụ, gia tốc sẽ tăng gấp đôi, nếu lực tác dụng tăng gấp đôi). Gia tốc cũng sẽ càng nhỏ nếu khối lượng (lượng vật chất) của vật càng lớn. (Cùng một lực tác dụng lên vật có khối lượng lớn gấp hai lần sẽ tạo ra một gia tốc nhỏ hơn hai lần). Một ví dụ tương tự lấy ngay từ chiếc ô tô: động cơ càng mạnh thì gia tốc càng lớn, nhưng với cùng một động cơ, xe càng nặng gia tốc càng nhỏ.

Ngoài những định luật về chuyển động, Newton còn phát minh ra định luật về lực hấp dẫn. Định luật này phát biểu rằng mọi vật đều hút một vật khác với một lực tỉ lệ với khối lượng của mỗi vật. Như vậy lực giữa hai vật sẽ mạnh gấp đôi nếu một trong hai vật (ví dụ vật A) có khối lượng tăng gấp hai. Đây là điều bạn cần phải trông đợi bởi vì có thể xem vật mới A được làm từ hai vật có khối lượng ban đầu, và mỗi vật đó sẽ hút vật B với một lực ban đầu. Như vậy, lực tổng hợp giữa A và B sẽ hai lần lớn hơn lực ban đầu. Và nếu, ví dụ, một trong hai vật có khối lượng hai lần lớn hơn và vật kia có khối lượng ba lần lớn hơn thì lực tác dụng giữa chúng sẽ sáu lần mạnh hơn. Bây giờ thì ta có thể hiểu tại sao các vật lại rơi với một gia tốc như nhau: một vật có trọng lượng lớn gấp hai lần sẽ chịu một lực hấp dẫn kéo xuống mạnh gấp hai lần, nhưng nó lại có khối lượng lớn gấp hai lần. Như vậy theo định luật

hai Newton kết quả này bù trừ chính xác cho nhau, vì vậy gia tốc của các vật là như nhau trong mọi trường hợp.

Định luật hấp dẫn của Newton cũng cho chúng ta biết rằng các vật càng ở xa nhau thì lực hấp dẫn càng nhỏ. Ví dụ, lực hấp dẫn của một ngôi sao đúng bằng một phần tư lực hút của một ngôi sao tương tự nhưng ở khoảng cách giảm đi một nửa. Định luật này tiên đoán quĩ đạo của Trái đất, Mặt trăng và các hành tinh với độ chính xác rất cao. Nếu định luật này khác đi, chẳng hạn, lực hấp dẫn của một ngôi sao giảm hoặc tăng theo khoảng cách nhanh hơn, thì quĩ đạo của các hành tinh không còn là hình elip nữa, mà chúng sẽ là những đường xoắn ốc về phía Mặt trời hoặc chạy ra xa Mặt trời. Nếu lực đó lại giảm chậm hơn, thì lực hấp dẫn từ các ngôi sao xa sẽ lấn át lực hấp dẫn từ Trái đất.

Sự khác biệt to lớn giữa những tư tưởng của Aristotle và những tư tưởng của Galileo và Newton là ở chỗ Aristotle tin rằng trạng thái đứng yên là trạng thái được "ưa thích" hơn của mọi vật – mọi vật sẽ lấy trạng thái đó nếu không có một lực hoặc xung lực nào tác dụng vào nó. Đặc biệt, ông cho rằng Trái đất là đứng yên. Nhưng từ những định luật của Newton suy ra rằng không có một tiêu chuẩn đơn nhất cho sự đứng yên. Người ta hoàn toàn có quyền như nhau khi nói rằng vật A là đứng yên và vật B chuyển động với vận tốc không đổi đối với vật A hoặc vật B là đứng yên và vật A chuyển động. Ví dụ, nếu tạm gác ra một bên chuyển động quay của Trái đất quanh trục của nó và chuyển động của nó xung quanh Mặt trời, người ta có thể nói rằng Trái đất là đứng yên và đoàn tàu trên nó chuyển động về phía Bắc với vận tốc 90 dặm một giờ hoặc đoàn tàu là đứng yên còn Trái

đất chuyển động về phía Nam cũng với vận tốc đó. Nếu người ta tiến hành những thí nghiệm của chúng ta với các vật chuyển động trên con tàu đó thì tất cả các định luật của Newton vẫn còn đúng. Ví dụ, khi đánh bóng bàn trên con tàu đó, người ta sẽ thấy rằng quả bóng vẫn tuân theo các định luật của Newton hệt như khi bàn bóng đặt cạnh đường ray. Như vậy không có cách nào cho phép ta nói được là con tàu hay Trái đất đang chuyển động.

Việc không có một tiêu chuẩn tuyệt đối cho sự đứng yên có nghĩa là người ta không thể xác định được hai sự kiện xảy ra ở hai thời điểm khác nhau có cùng ở một vị trí trong không gian hay không. Ví dụ, giả sử quả bóng bàn trên con tàu nảy lên và rơi xuống chạm bàn ở cùng một chỗ sau khoảng thời gian 1 giây. Đối với người đứng cạnh đường ray thì hai lần chạm bàn đó xảy ra ở hai vị trí cách nhau 40m vì con tàu chạy được quãng đường đó trong khoảng thời gian giữa hai lần quả bóng chạm bàn. Sự không tồn tại sự đứng yên tuyệt đối, vì vậy, có nghĩa là người ta không thể gán cho một sự kiện một vị trí tuyệt đối trong không gian, như Aristotle đã tâm niệm. Vị trí của các sự kiện và khoảng cách giữa chúng là khác nhau đối với người ở trên tàu và người đứng cạnh đường ray và chẳng có lý do gì để thích những vị trí của người này hơn vị trí của người kia.

Newton là người rất băn khoăn về sự không có vị trí tuyệt đối, hay như người ta vẫn gọi là không có không gian tuyệt đối, vì điều đó không phù hợp với ý niệm của ông về Thượng đế tuyệt đối. Thực tế, Newton đã chối bỏ, không chấp nhận sự không tồn tại của không gian tuyệt đối, mặc dù thậm chí

điều đó đã ngầm chứa trong những định luật của ông. Ông đã bị nhiều người phê phán nghiêm khắc vì niềm tin phi lí đó, mà chủ yếu nhất là bởi Giám mục Berkeley, một nhà triết học tin rằng mọi đối tượng vật chất và cả không gian lẫn thời gian chỉ là một ảo ảnh. Khi người ta kể cho tiến sĩ Johnson nổi tiếng về quan điểm của Berkeley, ông đã kêu lớn: "Tôi sẽ bác bỏ nó như thế này này!" và ông đá ngón chân cái ông vào một hòn đá lớn.

Cả Aristotle lẫn Newton đều tin vào thời gian tuyệt đối. Nghĩa là, họ tin rằng người ta có thể đo một cách đàng hoàng khoảng thời gian giữa hai sự kiện, rằng thời gian đó hoàn toàn như nhau dù bất kỳ ai tiến hành đo nó, miễn là họ dùng một chiếc đồng hồ tốt. Thời gian hoàn toàn tách rời và độc lập với không gian. Đó là điều mà nhiều người xem là chuyện thường tình. Tuy nhiên, chúng ta phải thay đổi những ý niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Mặc dù những quan niệm thông thường đó của chúng ta vẫn có kết quả tốt khi đề cập đến các vật như quả táo hoặc các hành tinh là những vật chuyển động tương đối chậm, nhưng chúng sẽ hoàn toàn không còn dùng được nữa đối với những vật chuyển động với vận tốc bằng hoặc gần bằng vận tốc ánh sáng.

Năm 1676, nhà thiên văn học Đan Mạch Ole Christensen Roemer là người đầu tiên phát hiện ra rằng ánh sáng truyền với vận tốc hữu hạn, mặc dù rất lớn. Ông quan sát thấy rằng thời gian để các mặt trăng của Mộc tinh xuất hiện sau khi đi qua phía sau của hành tinh đó không cách đều nhau như người ta chờ đợi, nếu các mặt trăng đó chuyển động vòng quanh Mộc tinh với vận tốc không đổi. Vì Trái đất và Mộc tinh đều quay xung quanh Mặt trời, nên khoảng cách giữa

chúng thay đổi. Roemer thấy rằng sự che khuất các mặt trăng của Mộc tinh xuất hiện càng muộn khi chúng ta càng ở xa hành tinh đó. Ông lý luận rằng điều đó xảy ra là do ánh sáng từ các mặt trăng đó đến chúng ta mất nhiều thời gian hơn khi chúng ta ở xa chúng hơn. Tuy nhiên, do những phép đo của ông về sự biến thiên khoảng cách giữa Trái đất và Mộc tinh không được chính xác lắm, nên giá trị vận tốc ánh sáng mà ông xác định được là 140.000 dặm/s, trong khi giá trị hiện nay đo được của vận tốc này là 186.000 dặm/s (khoảng 300.000 km/s). Dù sao thành tựu của Roemer cũng rất đáng kể, không chỉ trong việc chứng minh được rằng vận tốc của ánh sáng là hữu hạn mà cả trong việc đo được vận tốc đó, đặc biệt là nó lại được thực hiện 11 năm trước khi Newton cho xuất bản cuốn *Principia Mathematica*.

Một lý thuyết đích thực về sự truyền ánh sáng phải mãi tới năm 1865 mới ra đời, khi nhà vật lý người Anh James Clerk Maxwell đã thành công thống nhất hai lý thuyết riêng phần cho tới thời gian đó vẫn được dùng để mô tả riêng biệt các lực điện và từ. Các phương trình của Maxwell tiên đoán rằng có thể có những nhiễu động giống như sóng trong một trường điện từ kết hợp, rằng những nhiễu động đó sẽ được truyền với một vận tốc cố định giống như những gợn sóng trên hồ nước. Nếu bước sóng của những sóng đó (khoảng cách giữa hai đỉnh sóng liên tiếp) là một mét hoặc lớn hơn, thì chúng được gọi là sóng rađiô (hay sóng vô tuyến). Những sóng có bước sóng ngắn hơn được gọi là sóng cực ngắn (với bước sóng vài centimét) hoặc sóng hồng ngoại (với bước sóng lớn hơn mười phần ngàn centimet). Ánh sáng thấy được có bước sóng nằm giữa bốn mươi phần triệu đến tám mươi phần

triệu centimét. Những sóng có bước sóng còn ngắn hơn nữa là tia tử ngoại, tia - X và các tia gamma.

Lý thuyết của Maxwell tiên đoán các sóng vô tuyến và sóng ánh sáng truyền với một vận tốc cố định nào đó. Nhưng lý thuyết của Newton đã gạt bỏ khái niệm đứng yên tuyệt đối, vì vậy nếu ánh sáng được giả thiết là truyền với một vận tốc cố định, thì cần phải nói vận tốc cố định đó là đối với cái gì. Do đó người ta cho rằng có một chất được gọi là *ether* có mặt ở khắp mọi nơi, thậm chí cả trong không gian "trống rỗng". Các sóng ánh sáng truyền qua *ether* như sóng âm truyền trong không khí và do vậy vận tốc của chúng là đối với *ether*. Những người quan sát khác nhau chuyển động đối với *ether* sẽ thấy ánh sáng đi tới mình với vận tốc khác nhau, nhưng vận tốc của ánh sáng đối với *ether* luôn có một giá trị cố định. Đặc biệt, vì Trái đất chuyển động qua *ether* trên quỹ đạo quay quanh Mặt trời, nên vận tốc của ánh sáng được đo theo hướng chuyển động của Trái đất qua *ether* (khi chúng ta chuyển động tới gần nguồn sáng) sẽ phải lớn hơn vận tốc của ánh sáng hướng vuông góc với phương chuyển động (khi chúng ta không chuyển động hướng tới nguồn sáng). Năm 1887 Albert Michelson (sau này trở thành người Mỹ đầu tiên được nhận giải thưởng Nobel về Vật lý) và Edward Morley đã thực hiện một thực nghiệm rất tinh xảo tại trường Khoa học ứng dụng Case ở Cleveland. Họ đã so sánh vận tốc ánh sáng theo hướng chuyển động của Trái đất với vận tốc ánh sáng theo hướng vuông góc với chuyển động của Trái đất. Và họ đã vô cùng ngạc nhiên khi thấy rằng hai vận tốc đó hoàn toàn như nhau!

Giữa năm 1887 và năm 1905 có một số ý định, mà chủ yếu

là của nhà vật lý người Hà Lan Hendrik Lorentz, nhằm giải thích kết quả của thí nghiệm Michelson - Morley bằng sự co lại của các vật và sự chậm lại của đồng hồ khi chúng chuyển động qua *ether*. Tuy nhiên, trong bài báo công bố vào năm 1905, Albert Einstein, một nhân viên thuộc văn phòng cấp bằng sáng chế phát minh ở Bern, Thụy Sĩ, người mà trước đó còn chưa ai biết tới, đã chỉ ra rằng toàn bộ ý tưởng về *ether* là không cần thiết nếu người ta sẵn lòng vứt bỏ ý tưởng về thời gian tuyệt đối. Quan niệm tương tự cũng đã được một nhà toán học hàng đầu của Pháp là Henri Poincaré đưa ra chỉ ít tuần sau. Tuy nhiên, những lý lẽ của Einstein gần với vật lý hơn Poincaré, người đã xem vấn đề này như một vấn đề toán học. Công lao xây dựng nên lý thuyết mới này được thừa nhận là của Einstein, nhưng Poincaré vẫn thường được nhắc nhở tới và tên tuổi của ông gắn liền với một phần quan trọng của lý thuyết đó.

Tiên đề cơ bản của lý thuyết mới – mà người ta thường gọi là *thuyết tương đối* – được phát biểu như sau: mọi định luật của khoa học là như nhau đối với tất cả những người quan sát chuyển động tự do bất kể vận tốc của họ bằng bao nhiêu. Điều này đúng đối với các định luật của Newton về chuyển động, nhưng bây giờ ý tưởng đó được mở rộng ra bao hàm cả lý thuyết của Maxwell và vận tốc ánh sáng: mọi người quan sát đều đo được vận tốc ánh sáng có giá trị hoàn toàn như nhau bất kể họ chuyển động nhanh, chậm như thế nào. Ý tưởng đơn giản đó có một số hệ quả rất đáng chú ý. Có lẽ nổi tiếng nhất là hệ quả về sự tương đương của khối lượng và năng lượng được đúc kết trong phương trình nổi tiếng của Einstein: $E = mc^2$ và định luật nói rằng không có vật nào có thể chuyển động

nhanh hơn ánh sáng. Vì có sự tương đương giữa năng lượng và khối lượng nên năng lượng mà vật có được nhờ chuyển động sẽ làm tăng khối lượng của nó. Nói một cách khác, nó sẽ làm cho việc tăng vận tốc của vật trở nên khó khăn hơn. Hiệu ứng này chỉ thực sự quan trọng đối với các vật chuyển động với vận tốc gần với vận tốc ánh sáng. Ví dụ, với vận tốc chỉ bằng 10% vận tốc ánh sáng, khối lượng của vật chỉ tăng 0,5% so với khối lượng bình thường, trong khi với vận tốc bằng 90% vận tốc ánh sáng, khối lượng của nó tăng còn nhanh hơn, vì vậy sẽ càng mất nhiều năng lượng hơn để tăng vận tốc của nó lên cao nữa. Thực tế, không bao giờ có thể đạt tới vận tốc của ánh sáng vì khi đó khối lượng của vật sẽ trở thành vô hạn và do sự tương đương của khối lượng và năng lượng, sẽ phải tốn một lượng vô hạn năng lượng để đạt được điều đó. Vì lý do đó, một vật bình thường vĩnh viễn bị tính tương đối giới hạn chuyển động, nó chỉ chuyển động với vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng. Chỉ có ánh sáng hoặc những sóng khác không có khối lượng nội tại là có thể chuyển động với vận tốc ánh sáng.

Một hệ quả cũng đáng chú ý không kém của thuyết tương đối là nó đã làm cách mạng những ý niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Trong lý thuyết của Newton, nếu một xung ánh sáng được gửi từ nơi này đến nơi khác thì những người quan sát khác nhau đều nhất trí với nhau về thời gian truyền xung ánh sáng đó (vì thời gian là tuyệt đối). Vì vận tốc ánh sáng chính bằng khoảng cách mà nó truyền được chia cho thời gian đã tốn để đi hết quãng đường đó, nên những người quan sát khác nhau sẽ đo được vận tốc của ánh sáng có giá trị khác nhau. Trong thuyết tương đối, trái lại, mọi người quan sát đều phải nhất trí về giá trị vận tốc của ánh

sáng. Tuy nhiên, họ vẫn còn không nhất trí về khoảng cách mà ánh sáng đã truyền, vì vậy họ cũng phải không nhất trí về thời gian mà ánh sáng đã tốn (thời gian này bằng khoảng cách ánh sáng đã truyền – điều mà các nhà quan sát không nhất trí – chia cho vận tốc ánh sáng – điều mà các nhà quan sát đều nhất trí). Nói một cách khác, lý thuyết tương đối đã cáo chung ý tưởng về thời gian tuyệt đối! Hóa ra là mỗi một người quan sát cần phải có một độ đo thời gian riêng của mình như được ghi nhận bởi đồng hồ mà họ mang theo và các đồng hồ giống hệt nhau được mang bởi những người quan sát khác nhau không nhất thiết phải chỉ như nhau.

Mỗi một người quan sát có thể dùng rađa để biết một sự kiện xảy ra ở đâu và khi nào bằng cách gửi một xung ánh sáng hoặc sóng vô tuyến. Một phần của xung phản xạ từ sự kiện trở về và người quan sát đo thời gian mà họ nhận được tiếng dội đó. Thời gian xảy ra sự kiện khi đó sẽ bằng một nửa thời gian tính từ khi xung được gửi đi đến khi nhận được tiếng dội trở lại, còn khoảng cách tới sự kiện bằng nửa số thời gian cho hai lượt đi-về đó nhân với vận tốc ánh sáng. (Một sự kiện, theo ý nghĩa này, là một điều gì đó xảy ra ở một điểm duy nhất trong không gian và ở một thời điểm xác định trong thời gian). Ý tưởng này được minh họa trên hình 2.1, nó là một ví dụ về giản đồ không-thời gian. Dùng thủ tục này, những người quan sát chuyển động đối với nhau sẽ gán cho cùng một sự kiện những thời gian và vị trí khác nhau. Không có những phép đo của người quan sát đặc biệt nào là đúng hơn những người khác, nhưng tất cả các phép đo đều quan hệ với nhau. Bất kỳ một người quan sát nào cũng tính ra được một cách chính xác thời gian và vị trí mà một người quan sát

khác gán cho một sự kiện, miễn là người đó biết được vận tốc tương đối của người kia.

Ngày hôm nay để đo khoảng cách một cách chính xác, chúng ta vẫn còn dùng phương pháp nói trên, bởi vì chúng ta có thể đo thời gian chính xác hơn đo chiều dài. Thực tế, mét được định nghĩa là khoảng cách mà ánh sáng đi được trong khoảng thời gian 0,000000003335640952 giây đo theo đồng hồ nguyên tử xesi. (Nguyên nhân dẫn tới con số lạ lùng này là để nó tương ứng với định nghĩa có tính chất lịch sử của mét: là khoảng cách giữa hai vạch trên một cái thước đặc biệt làm bằng bạch kim được giữ ở Pari). Như vậy chúng ta có thể dùng một đơn vị mới thuận tiện hơn, được gọi là giây-ánh sáng. Nó đơn giản là khoảng cách mà ánh sáng đi được trong một giây. Trong lý thuyết tương đối, bây giờ chúng ta định nghĩa khoảng cách thông qua thời gian và vận tốc ánh sáng, như vậy phải tự động suy ra rằng mọi người quan sát đo vận tốc của ánh sáng sẽ nhận được cùng một giá trị (theo định nghĩa là 1m trong 0,000000003335640952 giây). Khỏi cần phải đưa vào khái niệm *ether*, vả lại sự có mặt của nó không thể được ghi nhận bằng cách nào, như thí nghiệm của Michelson-Morley đã chứng tỏ.

Tuy nhiên, lý thuyết tương đối buộc chúng ta phải thay đổi một cách căn bản những ý niệm của chúng ta về không gian và thời gian. Chúng ta cần phải chấp nhận rằng thời gian không hoàn toàn tách rời và độc lập với không gian, mà kết hợp với nó thành một đối tượng được gọi là không-thời gian.

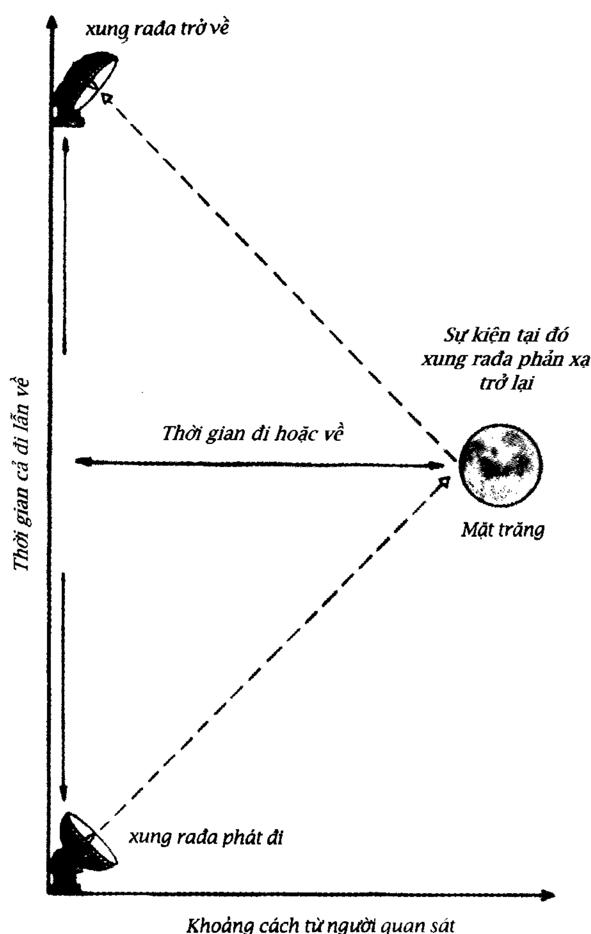
Theo kinh nghiệm thông thường, người ta có thể mô tả vị trí của một điểm trong không gian bằng ba con số, hay nói cách khác là ba tọa độ. Ví dụ, người ta có thể nói: một

điểm ở trong phòng cách một bức tường bảy bộ, cách một bức tường khác ba bộ và cao so với sàn năm bộ. Hoặc người ta có thể chỉ rõ một điểm ở kinh tuyến nào, vĩ tuyến bao nhiêu và ở độ cao nào so với mực nước biển. Người ta có thể thoải mái dùng ba tọa độ thích hợp nào mà mình muốn, mặc dù chúng chỉ có một phạm vi ứng dụng hạn chế. Chẳng hạn, chúng ta sẽ không chỉ vị trí của Mặt trăng bằng khoảng cách theo phương bắc và phương tây so với rạp xiếc Piccadilly và chiều cao của nó so với mực nước biển. Thay vì thế, người ta cần phải mô tả nó qua khoảng cách từ Mặt trời, khoảng cách từ mặt phẳng quỹ đạo của các hành tinh và góc giữa đường nối Mặt trăng với Mặt trời và đường nối Mặt trời tới một ngôi sao ở gần như sao Anpha của chòm sao Nhân mã, chẳng hạn. Nhưng thậm chí những tọa độ này cũng không được dùng nhiều để mô tả vị trí của Mặt trời trong thiên hà của chúng ta hoặc của thiên hà chúng ta trong đám thiên hà địa phương. Thực tế, người ta có thể mô tả toàn bộ vũ trụ bằng một tập hợp các mảng gối lên nhau. Trong mỗi một mảng, người ta có thể dùng một tập hợp ba tọa độ khác nhau để chỉ vị trí của các điểm.

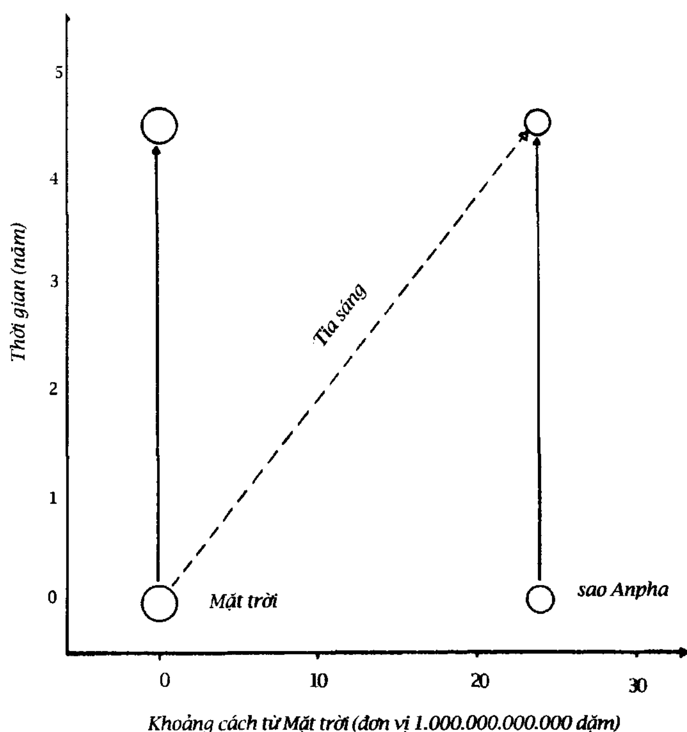
Một sự kiện là một cái gì đó xảy ra ở một điểm cụ thể trong không gian và ở một thời điểm cụ thể. Như vậy, người ta có thể chỉ nó bằng bốn con số hay là bốn tọa độ. Và lần này cũng thế, việc lựa chọn các tọa độ là tùy ý, người ta có thể dùng ba tọa độ không gian đã biết và một độ đo nào đó của thời gian. Trong thuyết tương đối, không có sự phân biệt thực sự giữa các tọa độ không gian và thời gian, cũng hệt như không có sự khác biệt thực sự giữa hai tọa độ không gian. Người ta có thể chọn một tập hợp tọa độ mới, trong đó, chẳng hạn, tọa

độ không gian thứ nhất là tổ hợp của tọa độ không gian cũ thứ nhất và thứ hai. Ví dụ, thay vì đo vị trí của một điểm trên mặt đất bằng khoảng cách theo phương bắc và tây của nó đối với Rạp xiếc Piccadilly, người ta có thể dùng khoảng cách theo hướng đông bắc và tây bắc đối với Piccadilly. Cũng tương tự như vậy, trong thuyết tương đối, người ta có thể dùng tọa độ thời gian mới là thời gian cũ (tính bằng giây) cộng với khoảng cách (tính bằng giây-ánh sáng) theo hướng bắc của Piccadilly.

Một cách rất hữu ích để suy nghĩ về bốn tọa độ của một sự kiện là chỉ vị trí của nó trong một không gian bốn chiều, được gọi là không-thời gian. Chúng ta không thể tưởng tượng nổi một không gian bốn chiều. Riêng bản thân tôi hình dung một không gian ba chiều cũng đã vất vả lắm rồi. Tuy nhiên, vẽ một sơ đồ về không gian hai chiều thì lại khá dễ dàng, chẳng hạn như vẽ bề mặt của Trái đất. (Bề mặt của Trái đất là hai chiều vì vị trí của một điểm trên đó có thể được chỉ bằng hai tọa độ: kinh độ và vĩ độ). Tôi sẽ thường sử dụng những giản đồ trong đó thời gian tăng theo phương thẳng đứng hướng lên trên, còn một trong những chiều không gian được vẽ theo phương nằm ngang. Hai chiều không gian còn lại sẽ bỏ qua hoặc đôi khi một trong hai chiều đó được vẽ theo phối cảnh. (Những giản đồ này được gọi là giản đồ không-thời gian, giống như H.2.1). Ví dụ, trong H.2.2. thời gian được đặt hướng lên trên với đơn vị là năm, còn khoảng cách nằm dọc theo đường thẳng nối Mặt trời với sao Anpha của chòm Nhân mã được đặt nằm ngang với đơn vị là dặm. Những con đường của Mặt trời và sao Anpha qua không-thời gian là những đường thẳng đứng ở bên trái và bên phải của giản đồ.



Hình 2.1. Thời gian được đo theo trục thẳng đứng và khoảng cách từ người quan sát được đo theo trục ngang. Đường đi của người quan sát trong không-thời gian được biểu diễn bằng đường thẳng đứng bên trái. Đường đi của các tia sáng tới và phản xạ từ sự kiện là các đường chéo.

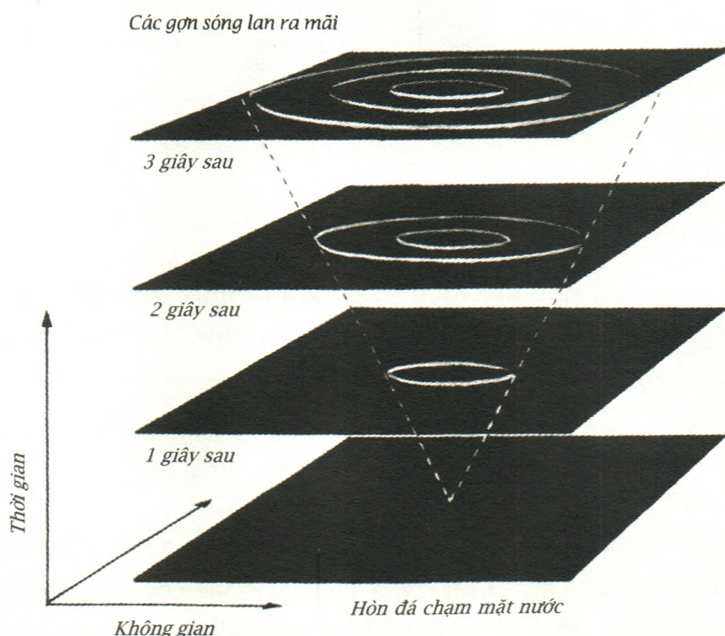


Hình 2.2

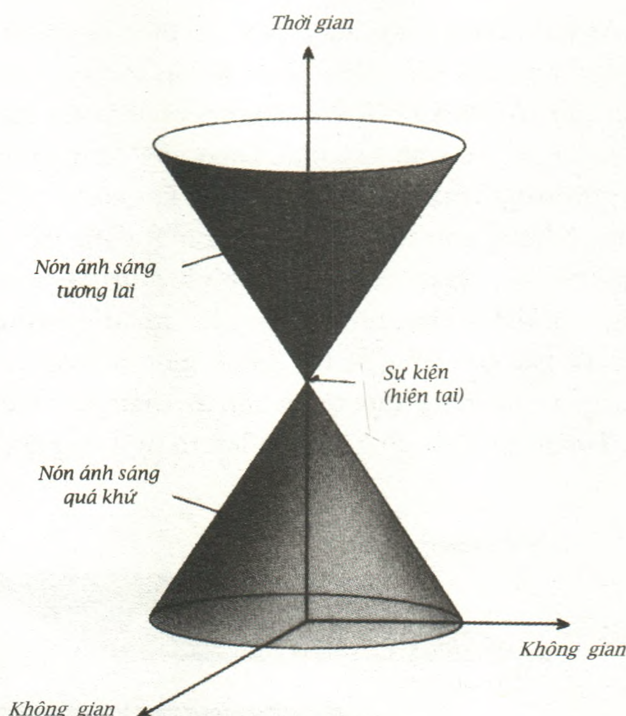
Tia sáng từ Mặt trời đi theo đường chéo và phải mất bốn năm mới tới được sao Anpha.

Như chúng ta đã thấy, các phương trình Maxwell tiên đoán rằng vận tốc của ánh sáng sẽ là như nhau bất kể vận tốc của nguồn ánh sáng bằng bao nhiêu và điều này đã được khẳng định bằng nhiều phép đo chính xác. Điều này suy ra từ sự kiện là nếu một xung ánh sáng được phát ra ở một thời điểm cụ thể, tại một điểm cụ thể trong không gian, thì sau đó với thời gian nó sẽ lan ra như một mặt cầu ánh sáng với kích

thước và vị trí không phụ thuộc vào vận tốc của nguồn sáng. Sau một phần triệu giây, ánh sáng sẽ lan truyền tạo thành một mặt cầu có bán kính 300m, sau hai phần triệu giây, bán kính là 600m, và cứ như vậy mãi. Điều này cũng giống như những gợn sóng truyền trên mặt nước khi có hòn đá ném xuống hồ. Những gợn sóng truyền như một vòng tròn cứ lớn dần mãi theo thời gian. Nếu ta xếp hình chụp các gợn sóng ở những thời điểm khác nhau chồng lên nhau thì vòng tròn lớn dần của các gợn sóng sẽ tạo thành một mặt nón có đỉnh nằm đúng tại chỗ và tại thời điểm hòn đá chạm vào mặt nước (H.2.3). Tương tự, ánh sáng truyền lan từ một sự kiện sẽ tạo



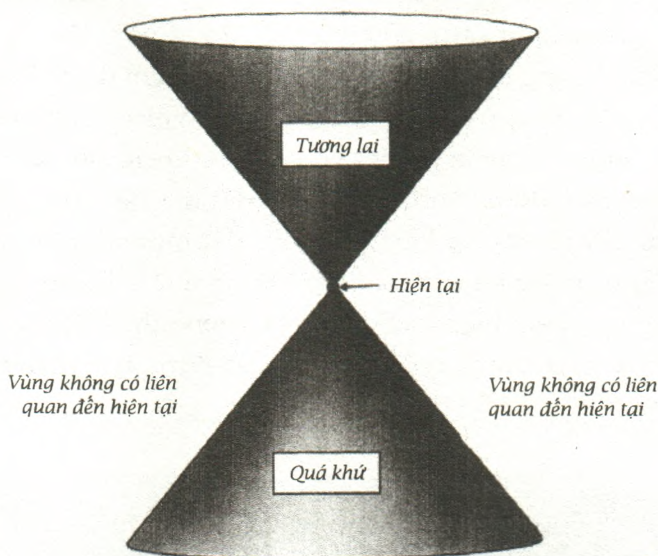
Hình 2.3



Hình 2.4

nên một mặt nón ba chiều trong không-thời gian bốn chiều. Mặt nón đó được gọi là mặt nón ánh sáng tương lai của sự kiện đang xét. Cũng bằng cách như vậy ta có thể dựng được một mặt nón khác, gọi là mặt nón ánh sáng quá khứ, – đó là tập hợp các sự kiện mà từ chúng một xung ánh sáng có thể tới được sự kiện đang xét (H.2.4).

Cho một sự kiện P, người ta có thể chia các sự kiện khác thành ba lớp. Các sự kiện mà các hạt hoặc các sóng chuyển động với vận tốc bằng hoặc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng có thể đạt tới được gọi là thuộc tương lai của P trên giản đồ không-

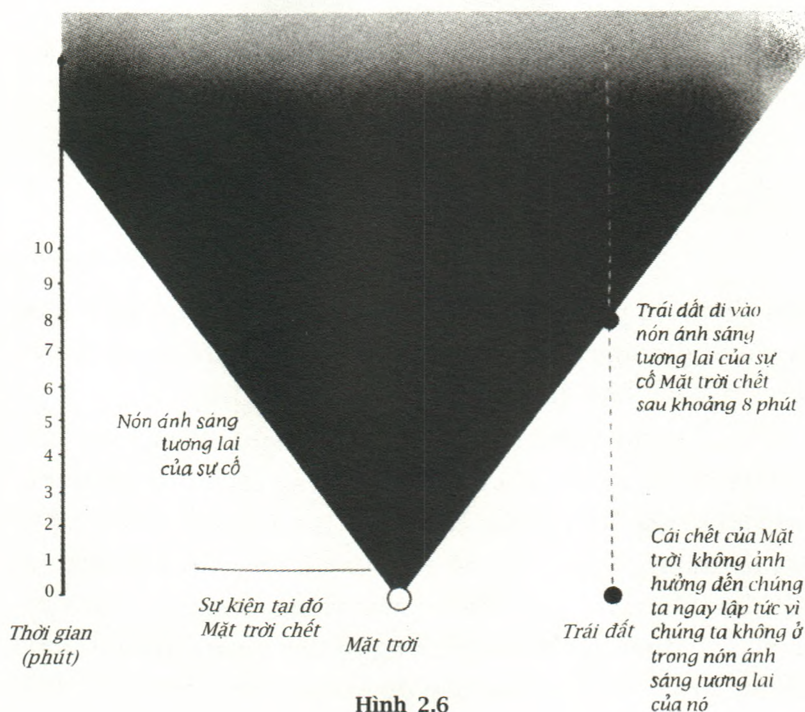


Hình 2.5

thời gian. Chỉ những sự kiện nằm trong tương lai của P mới chịu ảnh hưởng của những gì xảy ra ở P vì không gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng.

Tương tự, quá khứ của P được định nghĩa là tập hợp các sự kiện từ đó có thể đạt tới điểm P bằng cách chuyển động với vận tốc nhỏ hơn hoặc bằng vận tốc ánh sáng. Như vậy, đây là những sự kiện có thể ảnh hưởng tới những gì diễn ra ở P. Còn những sự kiện không nằm trong tương lai hoặc quá khứ của P được gọi là vùng không có liên quan với P (H. 2.5). Những gì xảy ra ở các sự kiện đó không ảnh hưởng và cũng

không bị ảnh hưởng bởi những gì xảy ra ở P. Ví dụ, nếu Mặt trời ngừng chiếu sáng ở chính thời điểm này, thì nó cũng chưa ảnh hưởng đến Trái đất ở ngay thời điểm đó, vì Trái đất lúc này còn ở vùng không có liên quan gì với sự kiện Mặt trời tắt (H. 2.6). Chúng ta sẽ biết về sự kiện đó chỉ sau tám phút – là thời gian đủ để ánh sáng đi từ Mặt trời đến Trái đất. Và chỉ khi này những sự kiện trên Trái đất mới nằm trong nón ánh sáng tương lai của sự kiện Mặt trời tắt. Tương tự như vậy, ở thời điểm hiện nay chúng ta không thể biết những gì đang xảy ra ở những nơi xa xôi trong vũ trụ, bởi vì ánh sáng

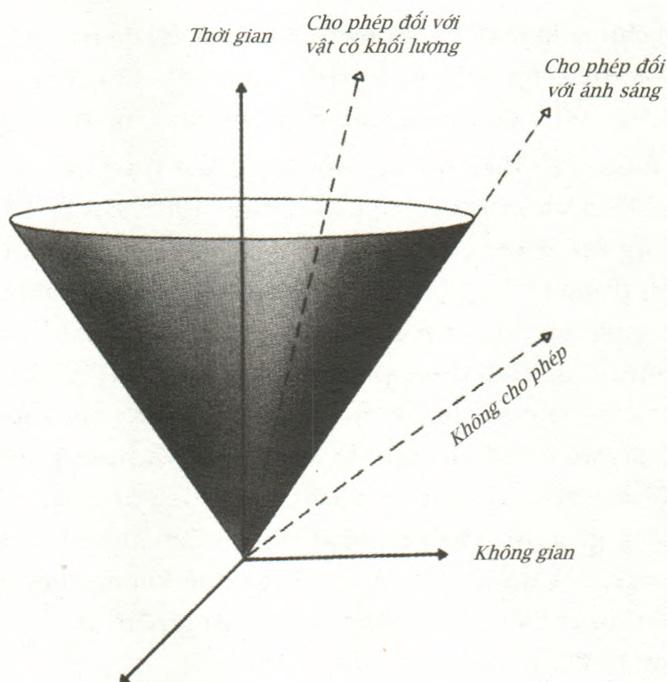


Hình 2.6

mà chúng ta thấy từ những thiên hà xa xôi đã rời những thiên hà đó từ hàng triệu năm trước. Như vậy, khi chúng ta quan sát vũ trụ thì thực ra là chúng ta đang thấy nó trong quá khứ.

Nếu người ta bỏ qua những hiệu ứng hấp dẫn, như Einstein và Poincaré đã làm năm 1905, thì ta có thuyết tương đối được gọi là *thuyết tương đối hẹp*. Đối với mỗi sự kiện trong không-thời gian ta đều có thể dựng một nón ánh sáng (là tập hợp mọi con đường khả dĩ của ánh sáng trong không-thời gian được phát ra ở sự kiện đó), và vì vận tốc ánh sáng là như nhau ở mỗi sự kiện và theo mọi hướng, nên tất cả các nón ánh sáng là như nhau và hướng theo cùng một hướng. Lý thuyết này cũng nói với chúng ta rằng không gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Điều đó có nghĩa là đường đi của mọi vật qua không-thời gian cần phải được biểu diễn bằng một đường nằm trong nón ánh sáng ở mỗi một sự kiện trên nó (H.2.7).

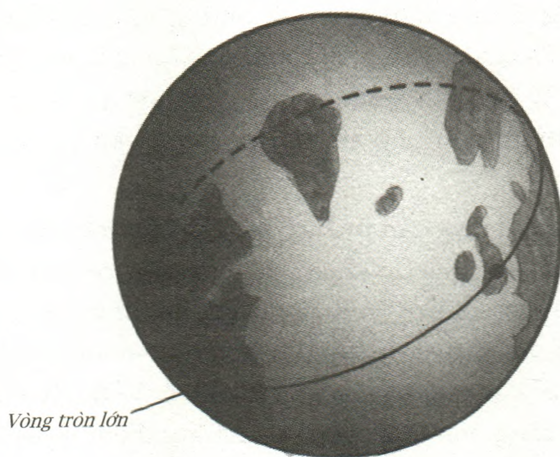
Lý thuyết tương đối hẹp rất thành công trong việc giải thích sự kiện như nhau của vận tốc ánh sáng đối với mọi người quan sát (như thí nghiệm Michelson - Morley đã chứng tỏ) và trong sự mô tả những điều xảy ra khi các vật chuyển động với vận tốc gần với vận tốc ánh sáng. Tuy nhiên, lý thuyết này lại không hòa hợp với thuyết hấp dẫn của Newton nói rằng các vật hút nhau với một lực phụ thuộc vào khoảng cách giữa chúng. Điều này có nghĩa là nếu làm cho một vật chuyển động thì lực tác dụng lên các vật khác sẽ thay đổi ngay lập tức. Hay nói một cách khác, các tác dụng hấp dẫn truyền với vận tốc vô hạn, thay vì nó bằng hoặc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng như thuyết tương đối hẹp đòi hỏi. Trong khoảng thời gian từ năm 1908 đến năm 1914, Einstein đã nhiều lần



Hình 2.7

thử tìm một lý thuyết hấp dẫn hòa hợp được với thuyết tương đối hẹp, nhưng đã không thành công. Cuối cùng, vào năm 1915, ông đã đưa ra được một lý thuyết mà ngày nay chúng ta gọi là *thuyết tương đối rộng* (hay *thuyết tương đối tổng quát*). Ông đã đưa ra một giả thiết có tính chất cách mạng cho rằng hấp dẫn không phải là một lực giống như những lực khác mà nó là kết quả của sự kiện là: không-thời gian không phải phẳng như trước kia người ta vẫn tưởng mà nó cong hay "vênh" đi do sự phân bố của khối lượng và năng lượng trong nó. Các vật như Trái đất không phải được tạo ra để chuyển động trên các quỹ đạo cong bởi lực hấp dẫn, mà thay vì thế,

chúng chuyển động theo đường rất gần với đường thẳng trong không gian cong mà người ta gọi là đường trắc địa. Đường trắc địa là đường ngắn nhất (hoặc dài nhất) giữa hai điểm cạnh nhau. Ví dụ, bề mặt Trái đất là một không gian cong hai chiều. Đường trắc địa trên mặt Trái đất chính là vòng tròn lớn và nó là đường ngắn nhất giữa hai điểm trên mặt đất (H.2.8.). Vì đường trắc địa là đường ngắn nhất giữa hai sân bay, nên đó là đường mà những người dẫn đường hàng không hướng các phi công bay theo. Trong lý thuyết tương đối rộng, các vật luôn luôn chuyển động theo các đường "thẳng" trong không-thời gian bốn chiều, nhưng đối với chúng ta, chúng có vẻ như chuyển động theo những đường cong trong không gian ba chiều của chúng ta. (Điều này rất giống với việc quan sát chiếc máy bay trên một vùng đồi gò. Mặc dù nó bay theo đường thẳng trong không gian ba chiều,



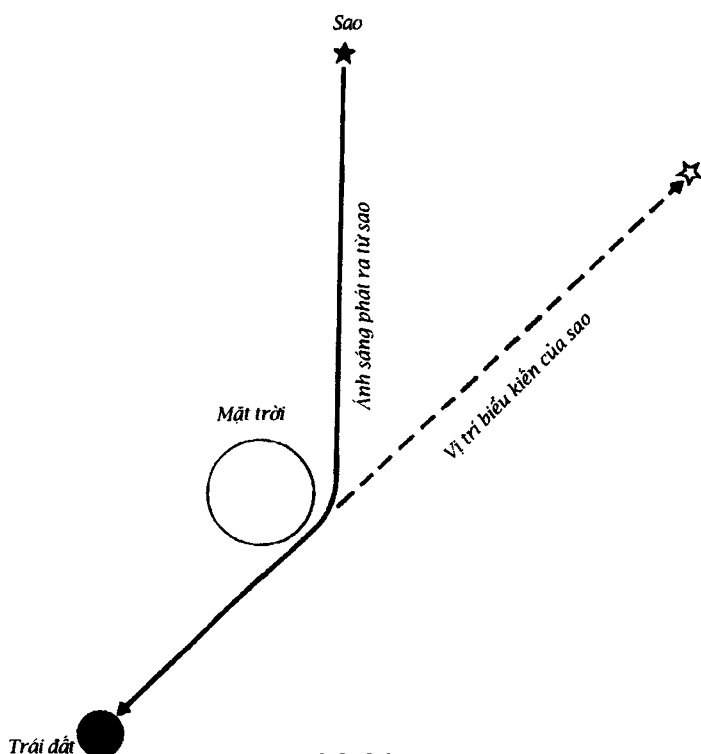
Hình 2.8

nhưng cái bóng của nó lại chuyển động theo một đường cong trên mặt đất hai chiều).

Khối lượng của Mặt trời làm cong không-thời gian theo cách sao cho mặc dù Trái đất chuyển động theo đường thẳng trong không-thời gian bốn chiều, nhưng nó lại thể hiện đối với chúng ta là chuyển động theo quỹ đạo tròn trong không gian ba chiều. Và thực tế, quỹ đạo của các hành tinh được tiên đoán bởi lý thuyết tương đối rộng cũng chính xác như được tiên đoán bởi lý thuyết hấp dẫn của Newton. Tuy nhiên, trong trường hợp đối với Thủy tinh, hành tinh gần Mặt trời nhất, do đó cảm thấy hiệu ứng hấp dẫn mạnh nhất và có quỹ đạo thuôn dài hơn, thì thuyết tương đối rộng tiên đoán rằng trục dài của elip quỹ đạo quay quanh Mặt trời với vận tốc 1^0 trong 10 ngàn năm. Tuy hiệu ứng là rất nhỏ, nhưng nó đã được ghi nhận từ trước năm 1915 và được dùng như một trong những bằng chứng đầu tiên khẳng định lý thuyết của Einstein. Trong những năm gần đây, những độ lệch thậm chí còn nhỏ hơn nữa của quỹ đạo các hành tinh khác so với những tiên đoán của lý thuyết Newton cũng đã được đo bằng rađa và cho thấy chúng phù hợp với những tiên đoán của thuyết tương đối rộng.

Những tia sáng cũng cần phải đi theo đường trắc địa trong không-thời gian, cũng lại do không gian bị cong nên ánh sáng không còn thể hiện là truyền theo đường thẳng trong không gian nữa. Như vậy thuyết tương đối rộng tiên đoán rằng ánh sáng có thể bị bẻ cong bởi các trường hấp dẫn. Ví dụ, lý thuyết này tiên đoán rằng nón ánh sáng của những điểm ở gần Mặt trời sẽ hơi bị uốn hướng vào phía trong do tác dụng của khối lượng Mặt trời. Điều này có nghĩa là ánh sáng từ một ngôi sao

xa khi đi qua gần Mặt trời có thể bị lệch đi một góc nhỏ, khiến cho đối với những người quan sát trên mặt đất, ngôi sao đó dường như ở một vị trí khác (H.2.9). Tất nhiên, nếu ánh sáng từ ngôi sao đó luôn luôn đi qua gần Mặt trời thì chúng ta không thể nói tia sáng có bị lệch hay không hoặc thay vì thế ngôi sao có thực sự nằm ở chỗ chúng ta nhìn thấy nó hay không. Tuy nhiên, vì Trái đất quay quanh Mặt trời nên những ngôi sao khác nhau có lúc dường như đi qua phía sau Mặt trời và ánh sáng của chúng bị lệch. Vì thế những ngôi sao này thay đổi vị trí biểu kiến của chúng đối với các ngôi sao khác.



Hình 2.9

Thường thì rất khó quan sát hiệu ứng này, bởi vì ánh sáng của Mặt trời làm cho ta không thể quan sát được những ngôi sao có vị trí biểu kiến ở gần Mặt trời trên bầu trời. Tuy nhiên, điều này có thể làm được trong thời gian có nhật thực, khi mà ánh sáng Mặt trời bị Mặt trăng chắn mất. Nhưng tiên đoán của Einstein không thể được kiểm chứng ngay lập tức trong năm 1915 vì cuộc chiến tranh thế giới lần thứ nhất lúc đó đang lan rộng và phải tới tận năm 1919 một đoàn thám hiểm Anh khi quan sát nhật thực ở Tây Phi đã chứng tỏ được rằng ánh sáng thực sự bị lệch do Mặt trời đúng như lý thuyết đã dự đoán. Sự chứng minh lý thuyết của một người Đức bởi các nhà khoa học Anh đã được nhiệt liệt hoan nghênh như một hành động hòa giải vĩ đại giữa hai nước sau chiến tranh. Do đó, thật là trớ trêu khi kiểm tra lại sau đó, những bức ảnh mà đoàn thám hiểm đã chụp, người ta phát hiện ra rằng sai số cũng lớn cỡ hiệu ứng mà họ định đo. Phép đo của họ hoàn toàn chỉ là may mắn hoặc một trường hợp đã biết trước kết quả mà họ muốn nhận được – một điều cũng thường xảy ra trong khoa học. Tuy nhiên, sự lệch của tia sáng đã được khẳng định hoàn toàn chính xác bởi nhiều quan sát sau này.

Một tiên đoán khác của thuyết tương đối rộng là thời gian dường như chạy chậm hơn khi ở gần những vật có khối lượng lớn như Trái đất, chẳng hạn. Đó là bởi vì có một mối liên hệ giữa năng lượng của ánh sáng và tần số của nó (tần số là số sóng ánh sáng trong 1 giây): năng lượng càng lớn thì tần số càng cao. Khi ánh sáng truyền hướng lên trong trường hấp dẫn của Trái đất, nó sẽ mất năng lượng và vì thế tần số của nó giảm. (Điều này nghĩa là khoảng thời gian giữa hai đỉnh sóng liên tiếp tăng lên). Đối với người ở trên cao mọi chuyện

ở phía dưới xảy ra chậm chạp hơn. Điều tiên đoán này đã được kiểm chứng vào năm 1962 bằng cách dùng hai đồng hồ rất chính xác: một đặt ở đỉnh và một đặt ở chân một tháp nước. Đồng hồ ở chân tháp, gần Trái đất hơn, chạy chậm hơn – hoàn toàn phù hợp với thuyết tương đối rộng. Sự khác biệt của tốc độ đồng hồ ở những độ cao khác nhau trên mặt đất có một tầm quan trọng đặc biệt trong thực tiễn hiện nay khi người ta sử dụng những hệ thống đạo hàng chính xác dựa trên những tín hiệu từ vệ tinh. Nếu khi này người ta bỏ qua những tiên đoán của thuyết tương đối rộng, thì vị trí tính toán được có thể sai khác tới vài ba dặm!

Những định luật về chuyển động của Newton đã đặt dấu chấm hết cho ý niệm về vị trí tuyệt đối trong không gian. Thuyết tương đối đã vứt bỏ khái niệm thời gian tuyệt đối. Ta hãy xét hai đứa trẻ sinh đôi. Giả sử rằng một đứa được đưa lên sống trên đỉnh núi và một đứa sống ở ngang mực nước biển. Đứa thứ nhất sẽ già nhanh hơn đứa thứ hai. Như vậy, nếu gặp lại nhau một đứa sẽ già hơn đứa kia. Trong trường hợp này sự khác nhau về tuổi tác sẽ rất nhỏ, nhưng nó sẽ lớn hơn rất nhiều nếu một đứa thực hiện chuyến du hành dài trong con tàu vũ trụ chuyển động với vận tốc gần vận tốc ánh sáng. Khi trở về nó sẽ trẻ hơn rất nhiều so với đứa ở lại Trái đất. Điều này được gọi là nghịch lý hai đứa trẻ sinh đôi, nhưng nó là nghịch lý chỉ nếu ý niệm về thời gian tuyệt đối vẫn còn lẩn quất trong đầu óc chúng ta. Trong lý thuyết tương đối không có một thời gian tuyệt đối duy nhất, mà thay vì thế mỗi cá nhân có một độ đo thời gian riêng của mình và độ đo đó phụ thuộc vào nơi họ đang ở và họ chuyển động như thế nào.

Trước năm 1915, không gian và thời gian được xem là một sân khấu cố định nơi diễn ra mọi sự kiện và không chịu ảnh hưởng bởi những điều xảy ra trong nó. Điều này đúng thậm chí đối với cả thuyết tương đối hẹp. Các vật chuyển động, các lực hút và đẩy, nhưng không gian và thời gian thì vẫn liên tục và không bị ảnh hưởng gì. Và ý nghĩ cho rằng không gian và thời gian cứ tiếp tục như thế mãi mãi cũng là chuyện tự nhiên.

Tuy nhiên, tình hình hoàn toàn khác trong thuyết tương đối rộng. Bây giờ không gian và thời gian là những đại lượng động lực: khi một vật chuyển động, hoặc một lực tác dụng, chúng đều ảnh hưởng đến độ cong của không gian và thời gian và đáp lại, cấu trúc của không-thời gian sẽ ảnh hưởng đến cách thức mà các vật chuyển động và các lực tác dụng. Không gian và thời gian không chỉ có tác động mà còn bị tác động bởi mọi điều xảy ra trong vũ trụ. Chính vì người ta không thể nói về các sự kiện trong vũ trụ mà không có khái niệm về không gian và thời gian, nên trong thuyết tương đối rộng sẽ trở nên vô nghĩa nếu nói về không gian và thời gian ở ngoài giới hạn của vũ trụ.

Trong những thập kỷ tiếp sau, sự nhận thức mới này về không gian và thời gian đã làm cách mạng quan niệm của chúng ta về vũ trụ. Ý tưởng xưa cũ cho rằng một vũ trụ căn bản không thay đổi có thể đã tồn tại và có thể còn tiếp tục tồn tại đã vĩnh viễn được thay thế bằng khái niệm một vũ trụ động, đang giãn nở, một vũ trụ dường như đã bắt đầu ở một thời điểm hữu hạn trong quá khứ và có thể chấm dứt ở một thời điểm hữu hạn trong tương lai. Cuộc cách mạng này là

đề tài của chương tiếp sau. Và những năm sau đó, nó cũng đã là điểm xuất phát cho hoạt động của tôi trong lĩnh vực vật lý lý thuyết. Roger Penrose và tôi đã chứng tỏ được rằng chính thuyết tương đối rộng đã ngụ ý vũ trụ cần phải có điểm bắt đầu và có thể cả điểm kết thúc nữa.

3.

VŨ TRỤ GIÃN NỞ

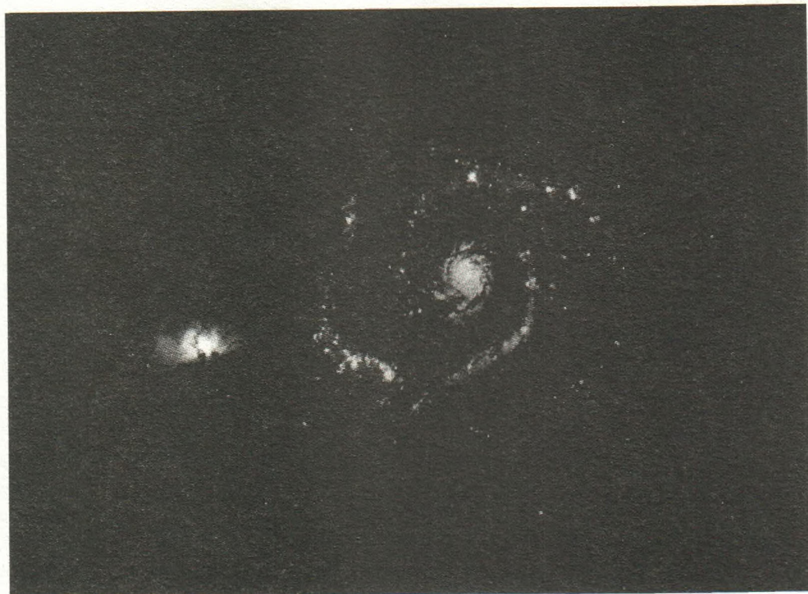
Nếu ta nhìn lên bầu trời vào những đêm quang đãng, không trăng, những vật sáng nhất mà chúng ta nhìn thấy có lẽ là các hành tinh: Kim tinh, Hỏa tinh, Mộc tinh, và Thổ tinh. Cũng có cả rất nhiều các ngôi sao tương tự như Mặt trời của chúng ta nhưng ở rất xa. Một số những ngôi sao cố định đó, thực tế, lại hóa ra thay đổi – dù là rất ít – vị trí tương đối của chúng với nhau khi Trái đất quay xung quanh Mặt trời: chúng hoàn toàn không phải là cố định! Sở dĩ có điều này là do chúng tương đối ở gần chúng ta. Khi Trái đất quay xung quanh Mặt trời, từ những vị trí khác nhau chúng ta thấy chúng trên nền của những ngôi sao ở xa hơn. Đó là một điều may mắn, vì nó cho phép chúng ta đo được một cách trực tiếp khoảng cách từ những ngôi sao đó đến chúng ta: chúng càng ở gần thì càng có vẻ di chuyển nhiều hơn. Ngôi sao gần chúng ta nhất là sao Proxima thuộc chòm sao Nhân mã được tìm thấy cách chúng ta khoảng bốn năm ánh sáng (nghĩa là ánh sáng từ nó phải mất bốn năm mới tới được Trái đất), hay khoảng hai mươi ba triệu triệu dặm. Đa số các ngôi

sao khác thấy được bằng mắt trần nằm cách chúng ta trong khoảng vài trăm năm ánh sáng. Để so sánh, bạn cần biết rằng Mặt trời chỉ cách chúng ta có 8 phút ánh sáng! Những ngôi sao thấy được dường như nằm rải rác trên toàn bộ bầu trời đêm, nhưng chúng đặc biệt tập trung trong một dải mà người ta gọi là dải Ngân Hà. Rất lâu về trước, vào khoảng năm 1750, đa số các nhà thiên văn cho rằng sự xuất hiện của dải Ngân Hà có thể giải thích được nếu phần lớn các sao nhìn thấy nằm trong một cấu hình giống như cái đĩa – một ví dụ về cái mà hiện nay chúng ta gọi là thiên hà xoắn ốc. Phải mấy chục năm sau, nhà thiên văn, Ngài William Herschel, mới khẳng định được ý tưởng đó của mình bằng cách cần mẫn lập một catalô về vị trí và khoảng cách của một số rất lớn các ngôi sao. Thậm chí như thế, nhưng ý tưởng này chỉ được chấp nhận hoàn toàn vào đầu thế kỷ này.

Bức tranh hiện đại về vũ trụ mới chỉ khởi đầu vào năm 1924, khi nhà thiên văn người Mỹ, Edwin Hubble chứng tỏ được rằng thiên hà của chúng ta không phải là thiên hà duy nhất. Thực tế còn có nhiều thiên hà khác và giữa chúng là những khoảng không gian trống rỗng rộng lớn. Để chứng minh điều này, ông đã phải xác định khoảng cách đến các thiên hà khác đó. Những thiên hà này ở quá xa chúng ta, nên không giống như những ngôi sao gần, chúng dường như thực sự cố định. Do đó Hubble buộc phải sử dụng các phương pháp gián tiếp để đo khoảng cách. Người ta biết rằng độ chói biểu kiến của các ngôi sao phụ thuộc vào hai yếu tố: ánh sáng nó phát ra bao nhiêu (tức độ trưng của nó) và nó ở xa chúng ta tới mức nào. Đối với những ngôi sao ở

gần, chúng ta có thể đo được cả độ chói biểu kiến lẫn khoảng cách của chúng và như vậy chúng ta có thể tính được độ trưng của chúng. Ngược lại, nếu chúng ta biết được độ trưng của các ngôi sao ở các thiên hà khác, chúng ta sẽ có thể tính được khoảng cách bằng cách đo độ chói biểu kiến của chúng. Hubble thấy rằng có một số loại sao luôn luôn có cùng độ trưng khi chúng ở đủ gần để ta có thể đo được, do đó ông rút ra kết luận rằng nếu ta tìm thấy những ngôi sao loại đó ở các thiên hà khác thì chúng ta có thể xem rằng chúng cũng có cùng độ trưng – và như vậy có thể tính được khoảng cách đến thiên hà đó. Nếu chúng ta có thể làm điều đó cho nhiều ngôi sao trong cùng một thiên hà mà kết qủa tính toán đều cho một khoảng cách như nhau thì hoàn toàn có thể tin được vào đánh giá của chúng ta.

Theo cách đó Edwin Hubble đã xác định được khoảng cách tới chín thiên hà khác nhau. Bây giờ thì chúng ta biết rằng thiên hà của chúng ta chỉ là một trong số vài trăm ngàn triệu thiên hà có thể nhìn thấy được bằng các kính thiên văn hiện đại, mỗi một thiên hà lại gồm khoảng vài trăm ngàn triệu ngôi sao. Hình 3.1 là ảnh của một thiên hà xoắn ốc mà chúng ta nghĩ rằng thiên hà của chúng ta sẽ được nhìn giống như thế dưới con mắt của người sống ở một thiên hà khác. Chúng ta sống trong một thiên hà có bề ngang rộng chừng một trăm ngàn năm ánh sáng và quay chậm; các ngôi sao nằm trong các nhánh xoắn của thiên hà quay xung quanh tâm của nó với vận tốc góc một vòng trong vài trăm triệu năm. Mặt trời của chúng ta cũng chỉ là một ngôi sao bình thường màu vàng, có kích thước trung bình và nằm ở mép



Hình 3.1

trong của một trong những nhánh xoắn ốc. Kể từ thời Aristotle và Ptolemy, thời mà người ta nghĩ rằng Trái đất là trung tâm của vũ trụ, cho tới ngày nay, quả thật chúng ta đã đi được một chặng đường rất dài.

Những ngôi sao ở xa chúng ta đến nỗi, đối với chúng ta, chúng chỉ là những chấm sáng nhợt nhạt. Chúng ta không thể thấy được kích thước cũng như hình dạng của chúng. Vậy thì bằng cách nào ta có thể nói về các loại sao riêng biệt khác nhau? Đối với đại đa số các ngôi sao, chỉ có một nét đặc trưng mà chúng ta quan sát được – đó là mầu ánh sáng của chúng. Newton đã phát hiện ra rằng nếu ánh sáng Mặt trời đi qua một lăng kính, nó sẽ tách thành các màu thành

phần (còn gọi là quang phổ) của nó như màu của cầu vồng. Bằng cách hướng kính thiên văn vào một ngôi sao riêng lẻ hay một thiên hà người ta có thể quan sát một cách tương tự quang phổ của ánh sáng tới từ ngôi sao hay thiên hà đó. Những ngôi sao khác nhau có quang phổ khác nhau, nhưng độ chói tương đối của các màu khác nhau luôn luôn chính xác hệt như người ta mong đợi tìm thấy trong ánh sáng của những vật phát sáng nóng đỏ. (Thực tế, ánh sáng được phát ra bởi một vật không trong suốt nóng đỏ có phổ đặc trưng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nó – quang phổ nhiệt. Điều này có nghĩa là chúng ta có thể biết nhiệt độ của ngôi sao từ quang phổ ánh sáng của nó). Hơn nữa, chúng ta còn tìm thấy rằng một số màu rất xác định không có mặt trong quang phổ của ngôi sao, và những màu vắng mặt đó khác nhau đối với những ngôi sao khác nhau. Vì chúng ta biết rằng mỗi nguyên tố hóa học hấp thụ một tập hợp đặc trưng những màu rất xác định, nên bằng cách đối chiếu những màu này với những màu vắng mặt trong quang phổ của một ngôi sao, chúng ta có thể xác định được chính xác những nguyên tố nào có mặt trong khí quyển của ngôi sao đó.

Trong những năm 1920, khi các nhà thiên văn bắt đầu quan sát quang phổ của các ngôi sao thuộc những thiên hà khác, họ đã tìm thấy một điều rất đặc biệt: có những tập hợp đặc trưng các màu vắng mặt giống hệt như đối với những ngôi sao trong thiên hà chúng ta, nhưng chúng bị dịch đi cùng một lượng tương đối về phía đỏ của quang phổ. Để hiểu được ý nghĩa của điều này, chúng ta trước hết cần phải tìm hiểu về hiệu ứng Doppler. Như chúng ta đã thấy, ánh sáng thấy được gồm những thăng giáng, hay những sóng, trong

trường điện từ. Tần số (hay số sóng trong một giây) của ánh sáng là rất cao, trải dài từ bốn đến bảy trăm triệu triệu sóng trong một giây. Các tần số khác nhau của ánh sáng được mắt người nhìn thấy như những màu khác nhau. Những ánh sáng có tần số thấp nhất nằm ở phía đỏ của quang phổ và những ánh sáng có tần số cao nhất nằm ở phía tím của nó. Bây giờ chúng ta hãy hình dung một nguồn sáng ở cách chúng ta một khoảng không đổi, tỷ như một ngôi sao, và phát sóng ánh sáng có tần số không đổi. Rõ ràng là tần số của các sóng mà chúng ta nhận được cũng chính là tần số mà chúng đã được nguồn phát ra. (Trường hấp dẫn của thiên hà chưa đủ mạnh để gây ra hiệu ứng đáng kể). Bây giờ giả thử rằng nguồn sóng bắt đầu chuyển động hướng về phía chúng ta. Khi nguồn phát một đỉnh sóng tiếp theo thì nó ở gần chúng ta hơn, vì vậy thời gian để đỉnh sóng đó tới được chúng ta sẽ ít hơn so với khi nguồn sóng đứng yên. Điều này có nghĩa là thời gian giữa hai đỉnh sóng tới chúng ta là nhỏ hơn và do đó số sóng mà chúng ta nhận được trong một giây (tức là tần số) sẽ lớn hơn so với khi nguồn sóng đứng im. Tương ứng, nếu nguồn sóng đi ra xa chúng ta thì tần số mà chúng ta nhận được sẽ thấp hơn. Do đó, trong trường hợp ánh sáng, điều này có nghĩa là những ngôi sao chuyển động ra xa chúng ta sẽ có quang phổ dịch về phía đỏ của quang phổ (hiện tượng dịch về phía đỏ) và những ngôi sao chuyển động về phía chúng ta sẽ có quang phổ dịch về phía tím. Mối quan hệ này giữa tần số và vận tốc – được gọi là hiệu ứng Doppler – là một kinh nghiệm hàng ngày. Hãy lắng nghe một chiếc xe ô tô chạy trên đường: khi chiếc xe tiến lại gần, tiếng động cơ của nó nghe bổng hơn (tức là tần số sóng âm cao hơn), còn khi nó

đi ra xa âm của nó nghe trầm hơn. Đối với các sóng vô tuyến cũng tương tự như vậy. Thực tế, cảnh sát đã dùng hiệu ứng Doppler để xác định vận tốc của các xe ô tô bằng cách đo tần số của các xung sóng vô tuyến phản xạ từ các xe đó.

Sau khi chứng minh được sự tồn tại của các thiên hà khác, trong những năm tiếp sau, Hubble đã dành thời gian để lập catalô khoảng cách và quan sát quang phổ của các thiên hà đó.Vào thời gian ấy, nhiều người nghĩ rằng các thiên hà chuyển động một cách hoàn toàn ngẫu nhiên, cho nên họ chờ đợi sẽ tìm thấy những quang phổ dịch về phía tím cũng nhiều như những quang phổ dịch về phía đỏ. Do đó, người ta hết sức ngạc nhiên khi phát hiện ra rằng đa số các thiên hà đều có quang phổ dịch về phía đỏ: nghĩa là gần như tất cả chúng đang chuyển động ra xa chúng ta! Điều còn ngạc nhiên hơn nữa là phát hiện mà Hubble công bố năm 1929: thậm chí độ dịch về phía đỏ của thiên hà cũng không phải là ngẫu nhiên, mà nó tỷ lệ thuận với khoảng cách từ thiên hà đó đến chúng ta. Hoặc nói một cách khác, thiên hà càng ở xa thì nó chuyển động ra xa càng nhanh! Có nghĩa là vũ trụ không phải là tĩnh như trước kia người ta vẫn tưởng, mà thực tế nó đang giãn nở, khoảng cách giữa các thiên hà ngày càng tăng lên theo thời gian.

Phát minh vũ trụ đang giãn nở là một trong những cuộc cách mạng trí tuệ vĩ đại của thế kỷ 20. Với nhận thức muộn màng, việc ngạc nhiên tự hỏi tại sao trước kia không ai nghĩ tới điều đó là chuyện quá dễ dàng. Newton và những người khác lẽ ra phải thấy rằng vũ trụ tĩnh sớm hay muộn rồi cũng sẽ co lại dưới ảnh hưởng của lực hấp dẫn. Nhưng thay vì hãy cứ giả thử rằng vũ trụ đang giãn nở. Nếu nó giãn nở đủ chậm,

thì lực hấp dẫn sẽ làm cho nó cuối cùng sẽ ngừng giãn nở và sau đó sẽ bắt đầu co lại. Tuy nhiên, nếu vũ trụ giãn nở với vận tốc nhanh hơn một vận tốc giới hạn nào đó, thì hấp dẫn sẽ không bao giờ đủ mạnh để làm dừng nó lại và vũ trụ sẽ tiếp tục giãn nở mãi mãi. Điều này cũng hơi giống như khi người ta phóng một tên lửa lên không từ mặt đất. Nếu nó có vận tốc nhỏ thì lực hấp dẫn cuối cùng sẽ làm cho nó dừng lại và bắt đầu rơi xuống. Ngược lại, nếu tên lửa có vận tốc lớn hơn một vận tốc tới hạn nào đó (khoảng bảy dặm trong một giây), thì lực hấp dẫn sẽ không còn đủ mạnh để kéo nó lại nữa và nó sẽ tiếp tục rời xa Trái đất mãi mãi. Tính chất đó của vũ trụ lẽ ra hoàn toàn có thể được tiên đoán từ lý thuyết hấp dẫn của Newton ở bất kỳ thời điểm nào của thế kỷ 19, 18, thậm chí ở cuối thế kỷ 16. Nhưng vì niềm tin vào vũ trụ tĩnh quá mạnh tới mức nó vẫn còn dai dẳng cho tới đầu thế kỷ 20. Thậm chí cả Einstein khi xây dựng thuyết tương đối rộng vào năm 1915, cũng vẫn đinh ninh rằng vũ trụ cần phải là tĩnh, khiến ông đã phải sửa đổi lý thuyết của mình để điều đó có thể xảy ra bằng cách đưa vào những phương trình của mình cái được gọi là hằng số vũ trụ. Einstein đã đưa vào một lực "phản- hấp dẫn" mới, mà không giống như những lực khác, nó không có xuất xứ từ một nguồn cụ thể nào, mà được tạo dựng ngay trong cấu trúc của không-thời gian. Ông đặt ra yêu cầu không-thời gian có xu hướng nội tại là nở ra và điều đó có thể được làm để cân bằng chính xác với lực hút của toàn bộ vật chất trong vũ trụ sao cho kết quả thu được là một vũ trụ tĩnh. Dường như chỉ có một người là muốn chấp nhận thuyết tương đối rộng ở dạng ban đầu của nó, và trong khi Einstein và các nhà vật lý khác tìm mọi cách để lảng tránh sự

tiên đoán về một vũ trụ không tĩnh của thuyết tương đối rộng, thì người đó, tức là nhà vật lý và toán học người Nga Alexander Friedmann, thay vì thế, đã bắt tay vào giải thích nó.

Friedmann đã đưa ra hai giả thiết rất đơn giản về vũ trụ: đó là vũ trụ là đồng nhất theo mọi hướng mà chúng ta quan sát và điều này cũng đúng với bất kỳ vị trí quan sát nào. Chỉ từ hai ý tưởng đó, Friedmann đã chứng tỏ được rằng chúng ta không thể chờ đợi vũ trụ phải là tĩnh. Thực tế, vào năm 1922, ít năm trước phát minh của Hubble, Friedmann đã tiên đoán chính xác điều mà Hubble đã tìm ra!

Giả thiết cho rằng vũ trụ nhìn y hệt nhau theo mọi hướng rõ ràng là không đúng với thực tế. Ví dụ, như chúng ta đã thấy, những sao khác trong thiên hà chúng ta tạo nên một dải sáng nổi bật trên nền trời đêm, tức là dải Ngân Hà. Nhưng nếu chúng ta quan sát những thiên hà ở xa thì số lượng của chúng tương đối giống nhau. Như vậy về đại thể thì vũ trụ có thể xem là như nhau theo mọi hướng với điều kiện là ta phải nhìn nó ở qui mô lớn so với kích thước giữa các thiên hà và bỏ qua những sai khác ở qui mô nhỏ. Trong một thời gian dài điều này đã đủ biện minh cho giả thiết của Friedmann như một phép gần đúng thô đối với vũ trụ thực. Nhưng gần đây hơn, một sự tình cờ may mắn đã phát hiện ra rằng giả thiết của Friedmann thực tế là sự mô tả khá chính xác vũ trụ của chúng ta.

Năm 1965 hai nhà vật lý Mỹ làm việc ở phòng thí nghiệm của hãng Bell Telephone ở New Jersey là Arno Penzias và Robert Wilson đang tiến hành trắc nghiệm một máy dò sóng cực ngắn rất nhạy. (Sóng cực ngắn cũng giống như ánh sáng nhưng với tần số chỉ cỡ 10 ngàn triệu sóng trong một giây).

Penzias và Wilson rất băn khoăn khi họ phát hiện ra rằng máy dò của họ đã ghi được quá nhiều tiếng ồn hơn mức cần thiết. Tiếng ồn này dường như không đến theo một hướng đặc biệt nào. Đầu tiên họ phát hiện có phân chim trong máy, sau đó họ đã kiểm tra mọi khả năng có thể hỏng hóc, nhưng tất cả đều bị loại trừ. Họ cũng biết rằng mọi loại tiếng ồn bên trong bầu khí quyển sẽ mạnh hơn khi máy dò không hướng theo phương thẳng đứng, bởi vì các tia sáng truyền trong khí quyển sẽ thu được ở gần đường chân trời nhiều hơn là trên đỉnh đầu. Nhưng tiếng ồn thái quá ở đây lại như nhau theo mọi phương mà họ hướng đầu dò tới và như vậy nó phải tới từ bên ngoài khí quyển. Tiếng ồn này cũng như nhau cả ngày lẫn đêm trong suốt cả năm bất kể Trái đất vẫn quay quanh trục của nó và quay quanh Mặt trời. Điều này chứng tỏ bức xạ phải tới từ bên ngoài hệ Mặt trời, thậm chí từ ngoài cả thiên hà chúng ta, vì nếu không nó sẽ thay đổi khi chuyển động của Trái đất làm cho máy dò hướng theo những hướng khác nhau. Thực tế, chúng ta biết rằng bức xạ đó tới được chúng ta đã phải đi qua phần lớn vùng vũ trụ quan sát được và vì nó như nhau theo các phương khác nhau nên vũ trụ cũng cần phải như nhau theo mọi phương, nếu chỉ xét trên qui mô lớn. Bây giờ thì chúng ta biết rằng bất kể nhìn theo phương nào, thì tiếng ồn đó cũng chỉ biến thiên không bao giờ vượt quá một phần vạn. Như vậy, Penzias và Wilson hoàn toàn tình cờ đã phát hiện được một bằng chứng khá chính xác khẳng định giả thiết thứ nhất của Friedmann.

Tuy nhiên, do vũ trụ như nhau theo mọi hướng chỉ về trung bình trên qui mô lớn, chứ không phải hoàn toàn chính xác như vậy, nên các bức xạ vi ba cũng không thể hoàn toàn

như nhau theo mọi hướng. Tức là có những biến thiên nhỏ theo các hướng khác nhau. Những sai khác này lần đầu tiên đã được vệ tinh COBE (tên viết tắt của Cosmic Background Explorer satellite - *vệ tinh khảo sát bức xạ nền)*, phát hiện vào năm 1992 ở mức một phần một trăm ngàn. Mặc dù, những sai khác đó là nhỏ, nhưng lại rất quan trọng, như sẽ được giải thích ở Chương 8.

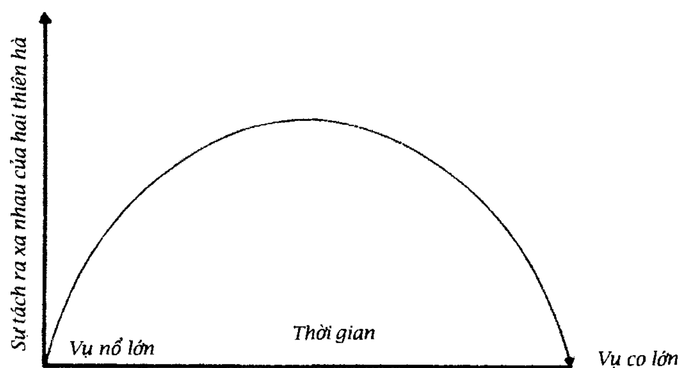
Gần khoảng thời gian ấy, hai nhà vật lý Mỹ ở Đại học Princeton gần đó là Bob Dicke và Jim Peebles cũng đang quan tâm tới các sóng cực ngắn. Họ đang làm việc theo một đề xuất của George Gamow (người đã một thời là sinh viên của Alexander Friendmann) cho rằng vũ trụ ở thời kỳ đầu phải rất nóng và đặc, đồng thời phát sáng nóng, trắng. Dicke và Peebles lý luận rằng chúng ta hiện nay vẫn còn có thể thấy được ánh sáng chói lọi đó của vũ trụ ở thời kỳ đầu, bởi vì ánh sáng từ những phần rất xa của vũ trụ chỉ bây giờ mới đến được chỗ chúng ta. Tuy nhiên, sự giãn nở của vũ trụ có nghĩa là ánh sáng đó phải dịch rất mạnh về phía đỏ khiến cho bây giờ chúng ta thấy nó dưới dạng bức xạ viba (sóng cực ngắn). Dicke và Peebles đang chuẩn bị tìm kiếm bức xạ đó thì Penzias và Wilson nghe nói về công trình của họ và hai ông hiểu ngay rằng mình đã phát hiện được chính bức xạ đó. Vì thế mà Penzias và Wilson đã được trao giải thưởng Nobel về vật lý năm 1978 (một điều hơi chua chát đối với Dicke và Peebles, ấy là chưa nói tới Gamow!).

Giờ đây thoạt nhìn, thì toàn bộ bằng chứng đó – bằng chứng xác nhận rằng vũ trụ nhìn như nhau theo bất cứ hướng nào mà chúng ta quan sát – có thể dẫn đến ý nghĩ cho rằng có một cái gì đó đặc biệt về vị trí của chúng ta trong vũ

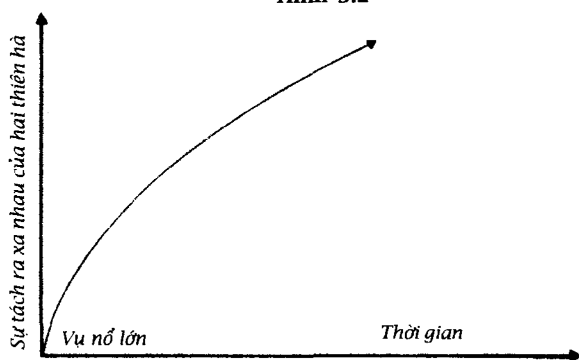
trụ. Đặc biệt, có thể nghĩ rằng nếu chúng ta quan sát thấy tất cả các thiên hà khác đang chuyển động ra xa chúng ta, thì chúng ta cần phải ở trung tâm của vũ trụ. Tuy nhiên, cũng có một cách giải thích khác: vũ trụ cũng phải như nhau theo mọi hướng khi nó được quan sát từ bất kỳ một thiên hà nào khác. Nhưng, như chúng ta đã thấy, đó chính là giả thiết thứ hai của Friedmann. Hiện chúng ta chưa có bằng chứng khoa học để khẳng định hay bác bỏ giả thiết đó. Chúng ta tin nó chỉ trên cơ sở của sự khiêm tốn: sẽ là quá nổi bật nếu vũ trụ là như nhau theo mọi phương xung quanh chúng ta, nhưng lại không như thế xung quanh các điểm khác trong vũ trụ. Trong mô hình của Friedmann, tất cả các thiên hà đều chuyển động ra xa nhau. Tình huống này khá giống một quả bóng bay, trên mặt có vẽ nhiều chấm màu, đang được thổi căng lên từ từ. Khi quả bóng căng lên, khoảng cách giữa các chấm màu tăng lên, nhưng không thể nói chấm màu nào là trung tâm của sự giãn nở đó. Hơn nữa các chấm càng xa nhau thì chúng chuyển động ra xa nhau càng nhanh. Tương tự như vậy, trong mô hình của Friedmann vận tốc mà hai thiên hà chuyển động ra xa nhau tỷ lệ với khoảng cách giữa chúng. Như vậy, mô hình này tiên đoán rằng mọi sự dịch về phía đỏ của một thiên hà tỷ lệ thuận với khoảng cách từ nó đến chúng ta, đúng như Hubble đã phát hiện. Mặc dù thành công của mô hình và tiên đoán của nó về những quan sát của Hubble, công trình của Friedmann ít được biết tới ở phương tây cho tới tận khi những mô hình tương tự được phát minh bởi nhà vật lý Mỹ Howard Robertson và nhà toán học Anh Arthur Walker để giải thích phát hiện của Hubble về sự giãn nở đều của vũ trụ.

Mặc dù Friedmann chỉ tìm ra một, nhưng thực tế có tới ba loại mô hình khác nhau cùng tuân theo hai giả thiết cơ bản của Friedmann. Trong loại đầu tiên (loại mà Friedmann đã phát hiện) vũ trụ giãn nở đủ chậm để lực hút hấp dẫn giữa các thiên hà khác nhau làm cho sự giãn nở chậm lại và cuối cùng thì dừng hẳn. Sau đó các thiên hà bắt đầu chuyển động lại gần nhau và vũ trụ co lại. Hình 3.2 cho thấy khoảng cách giữa hai thiên hà lân cận thay đổi từ không, tăng tới cực đại rồi lại giảm dần xuống không. Trong loại thứ hai, vũ trụ giãn nở nhanh tới mức lực hút hấp dẫn không bao giờ có thể làm quá trình đó dừng lại, mặc dù nó có thể chậm lại đôi chút. Hình 3.3. cho thấy sự tách xa của hai thiên hà cạnh nhau trong mô hình này. Nó bắt đầu từ không và cuối cùng các thiên hà chuyển động ra xa nhau với tốc độ đều. Cuối cùng là loại nghiệm thứ ba, trong đó vũ trụ giãn nở vừa đủ nhanh để tránh được quá trình co lại về trạng thái ban đầu. Trong trường hợp đó, sự tách biệt – như được thấy trên Hình 3.4 – cũng bắt đầu từ không rồi tăng lên mãi mãi. Tuy nhiên, vận tốc mà các thiên hà chuyển động ra xa nhau ngày càng nhỏ, mặc dù không bao giờ đạt tới không.

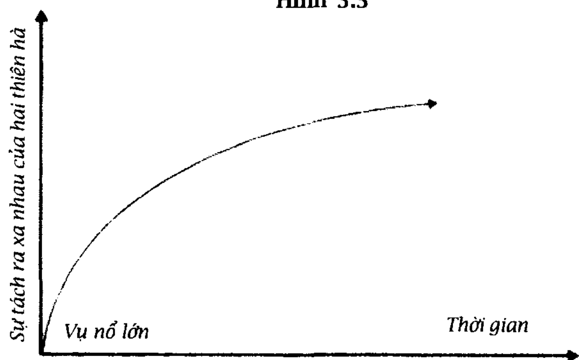
Một đặc điểm nổi bật của mô hình đầu tiên của Friedmann là vũ trụ không phải là vô hạn trong không gian, nhưng không gian lại không có biên. Lực hấp dẫn đã mạnh tới mức không gian bị cuốn tròn lại và làm cho nó na ná như bề mặt của Trái đất. Nếu người ta chỉ đi theo một hướng trên bề mặt của Trái đất, người ta sẽ không bao giờ gặp một rào chắn không thể qua được hoặc rơi xuống qua một mép vực, mà cuối cùng sẽ quay về chỗ đã xuất phát. Trong mô hình đầu tiên của Friendmann, không gian đúng như thế, chỉ có khác



Hình 3.2



Hình 3.3



Hình 3.4

nó là ba chiều chứ không phải hai chiều như bề mặt Trái đất. Chiều thứ tư – thời gian – cũng hữu hạn, nhưng nó giống như đường thẳng có hai đầu, hay nói cách khác là hai biên, bắt đầu và kết thúc. Sau này chúng ta sẽ thấy rằng khi người ta kết hợp thuyết tương đối rộng với nguyên lý bất định của cơ học lượng tử thì cả không gian lẫn thời gian đều có thể hữu hạn mà không có mép hoặc biên.

Ý tưởng cho rằng người ta có thể chu du vòng quanh vũ trụ và kết thúc ở chính chỗ xuất phát sẽ làm nên một câu chuyện viễn tưởng khoa học hay nhưng không có nhiều ý nghĩa thực tiễn, vì người ta có thể chứng tỏ được rằng vũ trụ sẽ co lại trở về kích thước zêrô trước khi người ta đi hết một vòng quanh nó. Bạn cần phải đi nhanh hơn ánh sáng mới kịp về chỗ xuất phát trước khi vũ trụ cáo chung, nhưng điều đó lại không được phép.

Trong loại mô hình đầu tiên của Friendmann, vũ trụ nở ra rồi co lại, không gian bị uốn tròn lại giống như bề mặt Trái đất. Do đó nó là hữu hạn. Trong loại mô hình thứ hai – vũ trụ nở ra mãi mãi – không gian bị uốn theo cách khác, nó giống như hình một chiếc yên ngựa. Như vậy, trong trường hợp này không gian là vô hạn. Cuối cùng trong mô hình thứ ba, với tốc độ giãn nở tới hạn, không gian là phẳng (và do đó cũng vô hạn).

Nhưng mô hình nào của Friedmann mô tả đúng vũ trụ của chúng ta? Liệu vũ trụ cuối cùng nó có ngừng giãn nở và bắt đầu co lại hay sẽ giản nở mãi mãi? Để trả lời câu hỏi đó cần phải biết tốc độ giãn nở hiện nay của vũ trụ và mật độ trung bình hiện nay của nó. Nếu mật độ nhỏ hơn một giá trị tới hạn nào đó được xác định bởi tốc độ giãn nở, thì

lực hút hấp dẫn sẽ quá yếu để làm dừng quá trình giãn nở. Nếu mật độ lớn hơn giá trị tới hạn, lực hấp dẫn sẽ làm dừng quá trình giãn nở ở một thời điểm nào đó trong tương lai và sẽ làm cho vũ trụ co lại.

Chúng ta có thể xác định được tốc độ giãn nở hiện thời bằng cách dùng hiệu ứng Doppler đo vận tốc mà các thiên hà chuyển động ra xa chúng ta. Điều này có thể thực hiện được một cách rất chính xác. Tuy nhiên, khoảng cách giữa các thiên hà lại được biết không chính xác lắm, do chúng ta đo chúng chỉ bằng phương pháp gián tiếp thôi. Vì vậy, hiện nay chúng ta chỉ biết được là vũ trụ đang giãn nở 5 đến 10 phần trăm trong mỗi khoảng thời gian là ngàn triệu năm. Tuy nhiên, sự bất định về mật độ trung bình hiện nay của vũ trụ thậm chí còn lớn hơn nữa. Nếu chúng ta cộng khối lượng của tất cả các ngôi sao nhìn thấy trong thiên hà của chúng ta và các thiên hà khác lại, thì tổng số còn nhỏ hơn một phần trăm khối lượng cần thiết để hãm sự giãn nở của vũ trụ lại, thậm chí cả trong trường hợp đánh giá thấp nhất tốc độ giãn nở. Tuy nhiên, thiên hà của chúng ta và các thiên hà khác còn cần phải chứa một lượng lớn "vật chất tối" mà chúng ta không thể thấy được trực tiếp, nhưng chúng ta biết nó phải có vì ảnh hưởng lực hút hấp dẫn của nó lên quỹ đạo của các ngôi sao trong các thiên hà. Hơn nữa, đa số các thiên hà được tìm thấy nằm thành từng đám và tương tự như trên chúng ta có thể suy ra sự có mặt của một lượng vật chất tối còn lớn hơn nữa trong khoảng giữa các thiên hà thuộc cùng một đám bởi tác động của nó lên chuyển động của các thiên hà. Khi cộng tất cả lượng vật chất tối đó lại, chúng ta cũng chỉ mới nhận được khoảng một phần mười khối lượng cần thiết để

hãm sự giãn nở lại. Tuy nhiên, chúng ta không thể loại trừ khả năng có thể có một dạng vật chất khác được phân bố đồng đều trong toàn vũ trụ mà chúng ta còn chưa phát hiện được và nó có thể sẽ nâng mật độ trung bình của vũ trụ lên tới giá trị tới hạn để hãm sự giãn nở lại. Do vậy, bằng chứng hiện nay mà chúng ta có gợi ý rằng vũ trụ có lẽ sẽ giãn nở vĩnh viễn, nhưng điều mà chúng ta thực sự tin chắc, đó là nếu thậm chí cuối cùng vũ trụ có co lại đi nữa, thì điều đó cũng chưa xảy ra ít nhất trong vòng mười ngàn triệu năm nữa, bởi vì nó vẫn còn giãn nở ít nhất cũng từng ấy thời gian. Điều này chắc sẽ không khiến chúng ta phải lo lắng: tới thời gian đó nếu chúng ta không định cư được ở ngoài hệ Mặt trời, thì loài người cũng đã diệt vong từ lâu cùng với Mặt trời của chúng ta!

Tất cả các mô hình của Friedmann đều có một đặc điểm là ở một thời điểm nào đó trong quá khứ (khoảng giữa mười và hai mươi tỷ năm trước) khoảng cách giữa hai thiên hà lân cận phải bằng không. Ở thời điểm đó – thời điểm mà chúng ta gọi là Vụ nổ lớn (Big Bang) – mật độ của vũ trụ và độ cong của không-thời gian là lớn vô hạn. Vì các nhà toán học không thể thực sự thao tác với các số vô hạn, nên điều này có nghĩa là thuyết tương đối rộng (mà các mô hình của Friedmann dựa trên đó) tiên đoán rằng có một điểm trong vũ trụ mà tại đó chính bản thân lý thuyết cũng không dùng được nữa. Một điểm như vậy là một ví dụ về cái mà các nhà toán học gọi là điểm kì dị. Thực tế mọi lý thuyết khoa học của chúng ta đều được phát biểu trên giả thuyết cho rằng không-thời gian là trơn và gần như phẳng, vì vậy chúng sẽ không còn dùng được ở điểm kỳ dị vụ nổ lớn vì ở đó độ cong của không-thời gian là vô hạn. Điều này có nghĩa là thậm chí nếu có những sự

kiện xảy ra trước Vụ nổ lớn, thì người ta cũng không thể dùng chúng để xác định những gì xảy ra sau đó, bởi vì tính tiên đoán được cũng sẽ không còn nữa tại Vụ nổ lớn. Tương ứng, nếu chỉ biết những gì từ sau Vụ nổ lớn – đó chính là trường hợp của chúng ta – thì chúng ta cũng không thể xác định được những gì đã xảy ra trước đó. Đối với chúng ta, thì những sự kiện xảy ra trước Vụ nổ lớn có thể không có hậu quả gì, vì vậy chúng không tạo thành một bộ phận trong mô hình khoa học về vũ trụ. Do đó, chúng ta sẽ cắt bỏ chúng khỏi mô hình và nói rằng thời gian bắt đầu từ Vụ nổ lớn.

Nhiều người không thích ý tưởng xem rằng thời gian có điểm bắt đầu, có lẽ bởi vì nó dây dưa với sự can thiệp của thần thánh. (Nhà thờ Gia tô giáo, trái lại, đã nắm ngay lấy mô hình Vụ nổ lớn và vào năm 1951 đã chính thức tuyên bố nó hoàn toàn phù hợp với Kinh thánh). Do đó đã có nhiều nỗ lực nhằm tránh kết luận cho rằng đã từng xảy ra Vụ nổ lớn. Một đề xuất được ủng hộ rộng rãi nhất gọi là lý thuyết trạng thái dừng. Nó được đưa ra vào năm 1948 bởi hai người tị nạn chạy khỏi nước Áo đang bị bọn phát xít chiếm đóng, đó là Hermann Bondi và Thomas Gold cùng với Fred Hoyle – người đã cùng họ nghiên cứu phát triển rađa trong thời kỳ chiến tranh. Ý tưởng của họ như sau: khi các thiên hà chuyển động ra xa nhau, thì ở khoảng trống giữa chúng các thiên hà mới liên tục được tạo thành từ vật chất mới liên tục được tạo ra. Do đó, về đại thể vũ trụ sẽ nhìn như nhau ở mọi thời điểm cũng như ở mọi điểm của không gian. Lý thuyết trạng thái dừng yêu cầu phải sửa đổi thuyết tương đối rộng để cho phép liên tục tạo ra vật chất, nhưng tốc độ của quá trình đó chậm tới mức (cỡ một hạt trên một kilomet khối

trong một năm) để nó không mâu thuẫn với thực nghiệm. Lý thuyết này là một lý thuyết khoa học tốt theo nghĩa đã được mô tả ở Chương 1: nó đơn giản và đưa ra được những tiên đoán xác định có thể kiểm chứng được bằng quan sát. Một trong số những tiên đoán của nó cho rằng số thiên hà hoặc các đối tượng tương tự trong một thể tích không gian cho trước sẽ là như nhau ở bất kỳ đâu và bất kỳ khi nào chúng ta quan sát vũ trụ. Vào cuối những năm 50 và đầu những năm 60, việc lập một bản đồ các nguồn sóng vô tuyến từ ngoài không gian vũ trụ đã được tiến hành bởi một nhóm các nhà thiên văn ở Cambridge do Martin Ryle đứng đầu (ông cũng đã từng làm việc với Bondi, Gold, và Hoyle về rađa trong thời kỳ chiến tranh). Nhóm Cambridge đã chỉ ra rằng đa số các nguồn sóng vô tuyến này phải nằm ngoài thiên hà của chúng ta (thực tế nhiều trong số đó có thể đồng nhất với các thiên hà khác) và số nguồn yếu là do ở xa hơn và các nguồn mạnh là do ở gần hơn. Khi đó hóa ra số các nguồn nằm trong một đơn vị thể tích của không gian đối với các nguồn ở gần lại ít hơn so với các nguồn ở xa. Điều đó có thể có nghĩa là chúng ta nằm ở trung tâm của một vùng rộng lớn của vũ trụ trong đó có số các nguồn ít hơn các nơi khác. Hoặc, cũng có thể có nghĩa là trong quá khứ, ở thời điểm các sóng vô tuyến xuất phát đi tới chúng ta thì số các nguồn nhiều hơn so với hiện nay. Cả hai cách giải thích đều mâu thuẫn với tiên đoán của thuyết trạng thái dừng. Hơn thế nữa, sự phát hiện thấy các bức xạ cực ngắn của Penzias và Wilson vào năm 1965 cũng chỉ ra rằng vũ trụ trong quá khứ phải đặc hơn rất nhiều. Do vậy lý thuyết trạng thái dừng cần phải vứt bỏ.

Một nỗ lực khác nhằm tránh kết luận cần phải có Vụ nổ

lớn và do đó có sự bắt đầu của thời gian đã được hai nhà khoa học Nga là Evgenii Lifshitz và Isaac Khalatnikov đưa ra năm 1963. Họ cho rằng Vụ nổ lớn có thể chỉ là một đặc điểm riêng có của các mô hình Friedmann, và xét cho cùng những mô hình này cũng chỉ là những mô tả gần đúng của vũ trụ thực. Có lẽ, trong số tất cả các mô hình gần giống với vũ trụ thực thì chỉ có những mô hình Friedmann là chứa điểm kỳ dị vụ nổ lớn. Trong các mô hình Friedmann, tất cả các thiên hà đều chuyển động thẳng ra xa nhau và vì vậy sẽ không có gì phải ngạc nhiên nếu ở một thời điểm nào đó trong quá khứ chúng tất cả đều ở cùng một chỗ. Tuy nhiên, trong vũ trụ thực, các thiên hà không thực sự chuyển động thẳng ra xa nhau, mà chúng còn có cả vận tốc cạnh, mặc dù là nhỏ. Như vậy, trong thực tế các thiên hà không bao giờ phải cùng ở đúng một chỗ mà chỉ cần ở rất sát nhau thôi. Có lẽ khi đó thì vũ trụ đang giãn nở hiện nay được tạo thành không phải từ điểm kỳ dị vụ nổ lớn, mà là từ một pha co lại trước kia. Khi vũ trụ đã co lại, các hạt trong đó có thể không phải tất cả đều va chạm với nhau mà chỉ bay qua rồi sau đó lại chuyển động ra xa nhau tạo nên sự giãn nở hiện nay của vũ trụ. Vậy thì làm sao chúng ta có thể nói được vũ trụ thực có bắt đầu từ Vụ nổ lớn hay không? Điều mà Lifshitz và Khalatnikov đã làm là nghiên cứu các mô hình của vũ trụ gần giống với các mô hình của Friedmann nhưng có tính đến những điểm bất thường và vận tốc ngẫu nhiên của các thiên hà trong vũ trụ. Họ đã chỉ ra rằng những mô hình như vậy cũng có thể bắt đầu từ Vụ nổ lớn, thậm chí mặc dù các thiên hà không phải luôn luôn chuyển động thẳng ra xa nhau, nhưng họ lại biện bạch rằng điều này chỉ khả dĩ trong một số mô hình đặc biệt trong đó các

thiên hà phải chuyển động đúng cách. Họ lý luận rằng vì các mô hình giống Friedmann không có điểm kỳ dị vụ nổ lớn nhiều vô hạn hơn những mô hình có điểm kỳ dị đó, nên cần phải rút ra kết luận rằng thực tế không có Vụ nổ lớn. Tuy nhiên, sau này họ thấy rằng có một lớp các mô hình giống Friedmann nhưng tổng quát hơn nhiều đều có các điểm kỳ dị mà trong đó các thiên hà không cần phải chuyển động theo một cách đặc biệt nào. Và do đó họ đã rút lại ý kiến vào năm 1970.

Công trình của Lifshitz và Khalatnikov có giá trị ở chỗ nó chứng tỏ được rằng vũ trụ *có thể* đã có điểm kỳ dị, tức là Vụ nổ lớn, nếu thuyết tương đối rộng là đúng. Tuy nhiên, điều đó chưa giải quyết được vấn đề căn bản: thuyết tương đối rộng có tiên đoán rằng vũ trụ của chúng ta cần phải có Vụ nổ lớn, nghĩa là sự bắt đầu của thời gian hay không? Câu trả lời xuất phát từ một cách tiếp cận hoàn toàn khác do nhà vật lý và toán học người Anh, Roger Penrose đưa ra vào năm 1965. Sử dụng tính chất của các nón ánh sáng trong thuyết tương đối rộng và sự thật là lực hấp dẫn luôn luôn là lực hút, ông đã chứng tỏ được rằng một ngôi sao đang co lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn riêng của mình sẽ bị bẫy vào một vùng mà bề mặt của nó cuối cùng sẽ co lại kích thước không. Và vì bề mặt của vùng đó co lại tới không, nên thể tích của nó cũng cần phải như thế. Như vậy toàn bộ vật chất sẽ được nén ép vào một vùng có thể tích không và do đó mật độ của vật chất và độ cong của không-thời gian sẽ trở nên vô hạn. Nói một cách khác, ta có một kỳ dị nằm trong vùng không-thời gian được gọi là lỗ đen.

Thoạt nhìn, kết quả của Penrose chỉ áp dụng được cho các ngôi sao, chứ chưa cho biết toàn bộ vũ trụ đã có một điểm kỳ

dị vụ nổ lớn trong quá khứ hay không. Tuy nhiên, vào thời gian Penrose đưa ra định lý của ông thì tôi còn là một nghiên cứu sinh đang trăn trở tìm vấn đề để hoàn tất luận án tiến sĩ của tôi. Hai năm trước đó, tôi được chẩn đoán là đã mắc bệnh ALS, thường được gọi là bệnh Lou Gehrig hay là bệnh về thần kinh chuyển động và người ta đã cho tôi hiểu rằng tôi chỉ còn sống được một hai năm nữa. Trong những hoàn cảnh như vậy, chẳng có tâm trí đâu mà làm luận án, vì tôi không nghĩ là mình sống được đến khi hoàn tất nó. Nhưng rồi hai năm đã trôi qua và tôi vẫn chưa thấy tình trạng sức khoẻ của mình xấu đi nhiều. Thực tế, mọi chuyện diễn ra khá tốt đẹp đối với tôi và tôi đã hứa hôn với Jane Wilde, một cô gái tuyệt vời. Nhưng để cưới nàng tôi cần phải có việc làm, mà muốn có việc làm tôi phải có bằng tiến sĩ.

Năm 1965 tôi đã đọc được định lý của Penrose nói rằng bất cứ vật nào co lại dưới tác dụng của lực hấp dẫn cuối cùng cũng sẽ phải tạo thành một điểm kỳ dị. Chẳng bao lâu sau tôi thấy rằng nếu đổi chiều thời gian trong định lý của Penrose, sao cho sự co lại trở thành sự giãn nở, thì các điều kiện của định lý đó vẫn còn đúng, với điều kiện vũ trụ hiện nay gần giống với mô hình của Friedmann trên qui mô lớn. Định lý của Penrose đã chứng tỏ rằng bất kỳ một ngôi sao đang co lại nào cũng phải kết thúc ở một điểm kỳ dị, còn lý luận dựa trên sự nghịch đảo thời gian thì chỉ ra rằng mọi vũ trụ giãn nở giống như Friedmann phải bắt đầu từ một điểm kỳ dị. Vì những lý do kỹ thuật, định lý Penrose đòi hỏi rằng vũ trụ là vô hạn trong không gian. Như vậy, thực tế, tôi đã sử dụng định lý đó để chứng minh được rằng sẽ cần phải có điểm kỳ dị, chỉ nếu vũ trụ giãn nở đủ nhanh để nó không bị

co lại một lần nữa (vì chỉ những mô hình Friedmann như thế mới là vô hạn trong không gian).

Trong ít năm sau, tôi đã phát triển những kỹ thuật toán học mới cho phép loại bỏ điều kiện có tính chất kỹ thuật đó ra khỏi các định lý chứng minh rằng những điểm kỳ dị cần phải xẩy ra. Kết quả cuối cùng là bài báo viết chung của Penrose và tôi công bố năm 1970 trong đó chúng tôi đã chứng minh được rằng cần phải có điểm kỳ dị vụ nổ lớn chỉ với điều kiện thuyết tương đối rộng là đúng và vũ trụ chứa một lượng vật chất như chúng ta quan sát thấy. Có rất nhiều phản bác đối với công trình của chúng tôi, một phần từ những người Nga do niềm tin mácxít của họ vào quyết định luận khoa học, một phần từ những người cảm thấy rằng toàn bộ ý tưởng về các kỳ dị là khó chịu và làm hỏng vẻ đẹp của lý thuyết Einstein. Tuy nhiên, người ta không thể thực sự tranh cãi với các định lý toán học. Và vì vậy, cuối cùng công trình của chúng tôi nói chung đã được chấp nhận và hiện nay hầu hết mọi người đều cho rằng vũ trụ đã bắt đầu từ điểm kỳ dị vụ nổ lớn. Nhưng có lẽ thật là trớ trêu, hiện nay tôi đã thay đổi ý nghĩ của mình và đang cố gắng thuyết phục các nhà vật lý khác tin rằng thực tế chẳng có điểm kỳ dị nào ở thời điểm bắt đầu của vũ trụ, vì như chúng ta sẽ thấy ở sau này, điểm kỳ dị sẽ biến mất một khi tính đến các hiệu ứng lượng tử.

Như chúng ta đã thấy trong chương này, chỉ chưa đầy một nửa thế kỷ mà quan niệm của loài người về vũ trụ được hình thành từ hàng ngàn năm nay đã bị biến đổi như thế nào. Phát minh Hubble về vũ trụ giãn nở và nhận thức về sự nhỏ nhoi của hành tinh chúng ta trong khoảng bao la của vũ trụ chính là điểm xuất phát. Khi mà những bằng chứng thực

nghiệm và lý thuyết được khớp lại, thì càng ngày chúng ta càng thấy rõ rằng vũ trụ cần phải có một điểm bắt đầu trong thời gian và mãi đến tận năm 1970 điều này cuối cùng đã được Penrose và tôi chứng minh trên cơ sở thuyết tương đối rộng của Einstein. Chứng minh này còn chỉ ra rằng thuyết tương đối rộng cũng là một lý thuyết chưa hoàn chỉnh: nó chưa thể nói cho chúng ta biết vũ trụ đã khởi phát như thế nào, vì nó tiên đoán rằng mọi lý thuyết vật lý, kể cả chính bản thân nó, đều không còn dùng được ở thời điểm bắt đầu đó của vũ trụ. Tuy nhiên, lý thuyết tương đối rộng chỉ là một lý thuyết riêng phần, nên điều mà các định lý về điểm kỳ dị thực sự chỉ ra là đã có một lúc trong giai đoạn rất sớm của vũ trụ, khi nó còn nhỏ tới mức không thể bỏ qua những hiệu ứng trên qui mô nhỏ của một lý thuyết riêng phần khác cũng rất vĩ đại của thế kỷ 20, đó là cơ học lượng tử.

Vào những năm đầu của thập kỷ 70, chúng tôi buộc phải thay đổi hướng nghiên cứu vũ trụ từ lý thuyết của chúng ta về các vật cực lớn tới lý thuyết của chúng ta về những vật cực nhỏ. Lý thuyết đó, tức cơ học lượng tử, sẽ được mô tả ở chương sau trước khi chúng ta quay trở lại với những nỗ lực kết hợp hai lý thuyết riêng phần trên thành một lý thuyết duy nhất – lý thuyết lượng tử của hấp dẫn.

4.

NGUYÊN LÝ BẤT ĐỊNH

Thành công của nhiều lý thuyết khoa học mà đặc biệt là lý thuyết hấp dẫn của Newton đã đưa nhà khoa học Pháp, hầu tước Laplace, vào thế kỷ 19 tới lập luận rằng vũ trụ là hoàn toàn tất định. Ông cho rằng có một tập hợp các định luật khoa học cho phép chúng ta tiên đoán được mọi chuyện xảy ra trong vũ trụ, miễn là chúng ta phải biết được trạng thái đầy đủ của vũ trụ ở một thời điểm nào đó. Ví dụ, nếu chúng ta biết vị trí và vận tốc của Mặt trời và các hành tinh ở một thời điểm, thì chúng ta có thể dùng các định luật Newton tính được trạng thái của hệ Mặt trời ở bất kể thời điểm nào khác. Quyết định luận dường như khá hiển nhiên trong trường hợp này, nhưng Laplace còn đi xa hơn nữa, ông cho rằng có những qui luật tương tự điều khiển mọi thứ khác nữa, kể cả hành vi của con người.

Học thuyết về quyết định luận khoa học đã bị chống đối rất mạnh bởi nhiều người, những người cảm thấy rằng nó xâm phạm đến sự tự do can thiệp của Chúa vào thế giới này, nhưng nó vẫn còn một sứ mạng với tính cách là tiêu chuẩn

của khoa học cho tới tận đầu thế kỷ 20. Một trong những chỉ dẫn đầu tiên cho thấy niềm tin đó cần phải vứt bỏ là khi những tính toán của hai nhà khoa học Anh, huân tước Rayleigh và ngài James Jeans, cho kết quả là: một đối tượng hay một vật thể nóng, chẳng hạn một ngôi sao, cần phải phát xạ năng lượng với tốc độ vô hạn. Theo những định luật mà người ta tin là đúng ở thời gian đó thì một vật thể nóng cần phải phát ra các sóng điện từ (như sóng vô tuyến, ánh sáng thấy được, hoặc tia X...) như nhau ở mọi tần số. Ví dụ, một vật thể nóng cần phải phát xạ một lượng năng lượng như nhau trong các sóng có tần số nằm giữa một và hai triệu triệu sóng một giây cũng như trong các sóng có tần số nằm giữa hai và ba triệu triệu sóng một giây. Và vì số sóng trong một giây là không có giới hạn, nên điều này có nghĩa là tổng năng lượng phát ra là vô hạn.

Để tránh cái kết quả rõ ràng là vô lý này, nhà khoa học người Đức, Max Planck vào năm 1900 đã cho rằng ánh sáng, tia X và các sóng khác không thể được phát xạ với một tốc độ tùy ý mà thành từng phần nhất định mà ông gọi là lượng tử. Hơn nữa, mỗi một lượng tử lại có một lượng năng lượng nhất định, năng lượng này càng lớn nếu tần số của sóng càng cao, vì vậy ở tần số đủ cao sự phát xạ chỉ một lượng tử thôi cũng có thể đòi hỏi một năng lượng lớn hơn năng lượng vốn có của vật. Như vậy sự phát xạ ở tần số cao phải được rút bớt đi, khi đó tốc độ mất năng lượng của vật mới còn là hữu hạn.

Giả thuyết lượng tử đã giải thích rất tốt tốc độ phát xạ của các vật nóng, nhưng những hệ quả của nó đối với quyết định luận thì mãi tới tận năm 1926, khi một nhà khoa học Đức khác là Werner Heisenberg phát biểu nguyên lý bất định nổi tiếng

của mình, thì người ta mới nhận thức được. Để tiên đoán vị trí và vận tốc trong tương lai của một hạt, người ta cần phải đo vị trí và vận tốc hiện thời của nó một cách chính xác. Một cách hiển nhiên để làm việc này là chiếu ánh sáng lên hạt. Một số sóng ánh sáng bị tán xạ bởi hạt và điều đó sẽ chỉ vị trí của nó. Tuy nhiên, người ta không thể xác định vị trí của hạt chính xác hơn khoảng cách giữa hai đỉnh sóng của ánh sáng, vì vậy người ta phải dùng ánh sáng có bước sóng ngắn để đo chính xác vị trí của hạt. Nhưng theo giả thuyết lượng tử của Planck, người ta không thể dùng một lượng ánh sáng nhỏ tùy ý được, mà phải dùng ít nhất một lượng tử. Lượng tử này sẽ làm nhiễu động hạt và làm thay đổi vận tốc của hạt một cách không thể tiên đoán được. Hơn nữa, càng đo chính xác vị trí của hạt, thì phải cần dùng ánh sáng có bước càng ngắn, nghĩa là năng lượng của một lượng tử càng cao. Và vì thế vận tốc của hạt sẽ bị nhiễu động một lượng càng lớn. Nói một cách khác, bạn càng cố gắng đo vị trí của hạt chính xác bao nhiêu thì bạn sẽ đo được vận tốc của nó kém chính xác bấy nhiêu, và ngược lại. Heisenberg đã chứng tỏ được rằng độ bất định về vị trí của hạt nhân với độ bất định về vận tốc của nó nhân với khối lượng của hạt không bao giờ nhỏ hơn một lượng xác định – lượng đó là hằng số Planck. Hơn nữa, giới hạn này không phụ thuộc vào cách đo vị trí và vận tốc của hạt hoặc vào loại hạt: nguyên lý bất định của Heisenberg là một tính chất căn bản không thể tránh khỏi của thế giới.

Nguyên lý bất định có những hệ quả sâu sắc đối với cách nhìn nhận thế giới của chúng ta. Thậm chí sau hơn 50 năm, nguyên lý này vẫn chưa được nhiều nhà triết học đánh giá đầy đủ và vẫn còn là đề tài của nhiều cuộc tranh luận.

Nguyên lý bất định đã phát tín hiệu về sự cáo chung cho giấc mơ của Laplace về một lý thuyết khoa học, một mô hình của vũ trụ hoàn toàn có tính chất tất định: người ta chắc chắn không thể tiên đoán những sự kiện tương lai một cách chính xác nếu như người ta không thể dù chỉ là đo trạng thái hiện thời của vũ trụ một cách chính xác! Chúng ta vẫn còn có thể cho rằng có một tập hợp các định luật hoàn toàn quyết định các sự kiện dành riêng cho một đấng siêu nhiên nào đó, người có thể quan sát trạng thái hiện thời của vũ trụ mà không làm nhiễu động nó. Tuy nhiên, những mô hình như thế không có lợi lộc bao nhiêu đối với những người trần thế chúng ta. Tốt hơn là hãy sử dụng nguyên lý tiết kiệm được biết tới như lưỡi dao cạo của Occam và cắt bỏ đi tất cả những nét đặc biệt của lý thuyết mà ta không thể quan sát được. Cách tiếp cận này đã dẫn Heisenberg, Edwin Schrodinger và Paul Dirac vào những năm 20 xây dựng lại cơ học trên cơ sở của nguyên lý bất định thành một lý thuyết mới gọi là cơ học lượng tử. Trong lý thuyết này các hạt không có vị trí và vận tốc tách bạch và hoàn toàn xác định. Thay vì thế chúng có một trạng thái lượng tử là tổ hợp của vị trí và vận tốc.

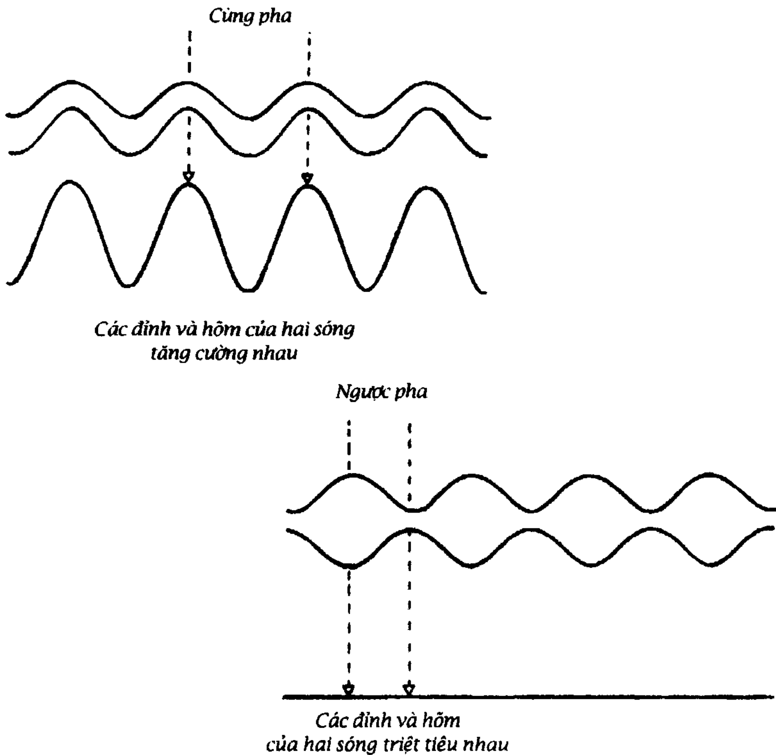
Nói chung, cơ học lượng tử không tiên đoán một kết quả xác định duy nhất cho một quan sát. Thay vì thế, nó tiên đoán một số kết cục khả dĩ khác nhau và nói cho chúng ta biết mỗi một kết cục đó là như thế nào. Nghĩa là, nếu ta tiến hành cùng một phép đo trên một số lớn các hệ tương tự nhau, mỗi một hệ đều khởi phát một cách hệt như nhau, thì ta sẽ thấy rằng kết quả của phép đo có thể là A trong một số trường hợp, là B trong một số trường hợp khác... Người ta có thể tiên đoán được gần đúng số lần xuất hiện kết quả A hoặc

B, nhưng người ta không thể tiên đoán một kết quả cụ thể nào của chỉ một phép đo. Do đó, cơ học lượng tử đã đưa vào khoa học một yếu tố không thể tránh khỏi – đó là yếu tố không thể tiên đoán hay yếu tố ngẫu nhiên. Einstein đã kịch liệt phản đối điều này, mặc dù ông đã đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển những ý tưởng đó. Einstein đã được trao giải thưởng Nobel vì những đóng góp của ông đối với thuyết lượng tử. Tuy nhiên ông không bao giờ chấp nhận rằng vũ trụ lại được điều khiển bởi sự may rủi. Những tình cảm đó của ông đã được cô đúc trong câu nói nổi tiếng sau: "Chúa không chơi trò xúc xắc". Tuy nhiên, phần lớn các nhà khoa học khác lại sẵn sàng chấp nhận cơ học lượng tử vì nó phù hợp tuyệt vời với thực nghiệm. Quả thật đây là một lý thuyết thành công rực rỡ và là cơ sở cho hầu hết các khoa học và công nghệ hiện đại. Nó điều khiển hành vi của các tranzito và các mạch tích hợp – những thành phần cơ bản của các dụng cụ điện tử như máy thu hình và computer, đồng thời cũng là nền tảng của hóa học và sinh học hiện đại. Lĩnh vực duy nhất của vật lý mà cơ học lượng tử còn chưa thâm nhập vào một cách thích đáng là hấp dẫn và cấu trúc của vũ trụ ở qui mô lớn.

Mặc dù ánh sáng được tạo bởi các sóng, nhưng giả thuyết lượng tử của Planck nói với chúng ta rằng trong một số phương diện nó xử sự như là được tạo thành từ các hạt: nó có thể được phát xạ hoặc hấp thụ chỉ theo từng phần riêng biệt hay theo các lượng tử. Cũng như vậy, nguyên lý bất định Heisenberg lại ngụ ý rằng trên một số phương diện các hạt lại xử sự như các sóng: chúng không có vị trí xác định mà bị "nhòe" đi với một phân bố xác suất nào đó. Lý thuyết cơ học lượng tử được xây dựng trên một loại toán học hoàn toàn

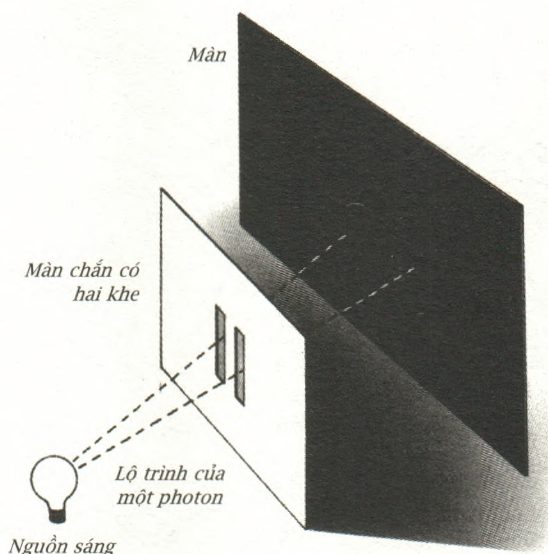
mới. Nó không mô tả thế giới thực bằng các sóng và các hạt nữa và chỉ có những quan sát thế giới là có thể được mô tả bằng những khái niệm đó. Như vậy là giữa sóng và hạt trong cơ học lượng tử có tính hai mặt: đối với một số mục đích sẽ rất ích lợi nếu xem hạt như các sóng và đối với những mục đích khác thì sẽ tốt hơn nếu xem sóng như các hạt. Một hệ quả quan trọng của điều này là người ta có thể quan sát được cái gọi là hiện tượng giao thoa giữa hai tập hợp sóng hoặc hạt. Tức là, các đỉnh của tập hợp sóng này có thể trùng với các hõm của tập hợp kia. Hai tập hợp sóng khi đó sẽ triệt tiêu lẫn nhau hơn là cộng lại để trở thành mạnh hơn như người ta chờ đợi (H.4.1). Một ví dụ quen thuộc của hiện tượng giao thoa ánh sáng là các màu thường thấy trên các bong bóng xà phòng. Hiện tượng này được gây bởi sự phản xạ ánh sáng ở hai mặt biên của màng mỏng nước tạo nên bong bóng. Ánh sáng trắng gồm các sóng ánh sáng có bước sóng khác nhau, tức là có màu sắc khác nhau. Đối với một số bước sóng, đỉnh của các sóng phản xạ từ một mặt biên trùng với hõm sóng được phản xạ từ mặt biên kia. Các màu tương ứng với các bước sóng này sẽ vắng mặt trong ánh sáng phản xạ và do đó ánh sáng này hóa ra có màu.

Sự giao thoa cũng có thể xảy ra đối với các hạt vì tính hai mặt được đưa vào bởi cơ học lượng tử. Một ví dụ nổi tiếng là cái được gọi là thí nghiệm hai-khe (H.4.2). Xét một màn chắn có hai khe hẹp song song nhau. Ở một phía của màn chắn người ta đặt một nguồn sáng có màu xác định (tức là có bước sóng xác định). Đa số ánh sáng sẽ đập vào màn chắn, chỉ có một lượng nhỏ đi qua hai khe thôi. Bây giờ giả sử đặt một màn hứng ở phía bên kia của màn chắn sáng.



Hình 4.1

Mọi điểm trên màn hứng sẽ đều nhận được sóng ánh sáng tới từ hai khe. Tuy nhiên, nói chung, lộ trình mà ánh sáng đi từ nguồn tới màn hứng qua hai khe sẽ là khác nhau. Điều này có nghĩa là các sóng ánh sáng tới màn hứng từ hai khe sẽ không trùng pha nhau: ở một số chỗ các sóng sẽ triệt tiêu nhau và ở một số chỗ khác chúng sẽ tăng cường nhau. Kết quả là ta sẽ nhận được bức tranh đặc trưng gồm những vân tối và sáng xen kẽ nhau.



Hình 4.2

Điều đáng lưu ý là người ta cũng nhận được bức tranh các vân hệt như vậy nếu thay nguồn sáng bằng nguồn hạt, chẳng hạn như các êlectron có vận tốc xác định (nghĩa là sóng tương ứng có bước sóng xác định). Điều này xem ra hết sức lạ lùng, bởi vì nếu chỉ có một khe thôi thì ta sẽ không nhận được hệ vân nào hết mà chỉ thu được một phân bố đều đặn của các êlectron trên màn hứng. Do đó người ta có thể nghĩ rằng việc mở thêm một khe nữa sẽ chỉ làm tăng số êlectron đập vào mỗi điểm trên màn hứng, nhưng do hiện tượng giao thoa, nó lại làm giảm con số đó ở một số chỗ. Nếu các êlêctrôn được gửi qua hai khe mỗi lần một hạt, thì người ta chờ đợi rằng mỗi một hạt sẽ đi qua khe này hoặc

khe kia và như vậy mọi chuyện xảy ra sẽ hệt như khi chỉ có một khe, nghĩa là sẽ cho một phân bố đều trên màn hứng. Nhưng thực tế, ngay cả khi gửi mỗi lần một êlectron đi nữa, thì các vân giao thoa vẫn cứ xuất hiện. Do đó mỗi êlectron phải đồng thời đi qua *cả hai* khe.

Hiện tượng giao thoa giữa các hạt là hiện tượng có tính chất quyết định đối với sự tìm hiểu của chúng ta về cấu trúc của nguyên tử – những đơn vị cơ sở của hóa học, sinh học và các đơn nguyên tạo nên bản thân chúng ta và các vật xung quanh chúng ta. Ở đầu thế kỷ này, người ta nghĩ rằng nguyên tử khá giống với Hệ Mặt trời trong đó các êlectron (mang điện âm) quay xung quanh một hạt nhân ở trung tâm mang điện dương, tương tự như các hành tinh quay xung quanh Mặt trời. Lực hút giữa điện âm và điện dương được xem là lực để giữ các êlectron trên quỹ đạo của chúng hệt như lực hút hấp dẫn giữa Mặt trời và các hành tinh giữ cho các hành tinh ở trên quỹ đạo của chúng. Nhưng ở đây có một khó khăn, đó là các định luật cơ học và điện học, trước cơ học lượng tử, lại tiên đoán rằng các êlectron sẽ mất dần năng lượng và vì thế sẽ chuyển động theo đường xoáy trôn ốc đi vào cho tới khi rơi vào hạt nhân. Điều đó có nghĩa là nguyên tử, và thực tế là toàn bộ vật chất, sẽ suy sập rất nhanh về trạng thái có mật độ rất cao. Lời giải một phần của bài toán này đã được nhà khoa học Đan Mạch, Niels Bohr tìm ra vào năm 1913. Ông cho rằng các êlectron không thể chuyển động theo những quỹ đạo cách hạt nhân một khoảng cách tùy ý mà chỉ theo những quỹ đạo có khoảng cách xác định. Và nếu còn giả thiết thêm rằng trên một quỹ đạo như thế chỉ có thể có một hoặc hai êlectron thì bài toán về sự suy sập của

nguyên tử xem như đã được giải quyết, bởi vì các êlectron không thể chuyển động xoáy trôn ốc đi vào mãi để lấp đầy các quỹ đạo với các khoảng cách và năng lượng nhỏ hơn.

Mô hình này đã giải thích khá tốt cấu trúc của nguyên tử đơn giản nhất – nguyên tử hydrô – chỉ có một êlectron quay xung quanh hạt nhân. Nhưng người ta còn chưa rõ phải mở rộng nó như thế nào cho các nguyên tử phức tạp hơn. Hơn nữa, ý tưởng về một tập hợp hạn chế các quỹ đạo được phép dường như là khá tùy tiện. Lý thuyết mới, tức cơ học lượng tử, đã giải quyết được khó khăn này. Nó phát hiện ra rằng các êlectron quay xung quanh hạt nhân có thể xem như một sóng có bước sóng phụ thuộc vào vận tốc của nó. Đối với một số quỹ đạo có chiều dài tương ứng với một số nguyên lần bước sóng của êlectron, đỉnh sóng luôn luôn ở những vị trí nhất định sau mỗi lần quay, vì vậy các sóng được cộng lại: những quỹ đạo này tương ứng với các quỹ đạo được phép của Bohr. Tuy nhiên, đối với các quỹ đạo có chiều dài không bằng số nguyên lần bước sóng, thì mỗi đỉnh sóng cuối cùng sẽ bị triệt tiêu bởi một hõm sóng khi các êlectron chuyển động tròn: những quỹ đạo này là không được phép.

Một cách rất hay để hình dung lưỡng tính sóng/hạt là cái được gọi là phép lấy tổng theo các lịch sử quỹ đạo do nhà khoa học người Mỹ Rirchard Feynman đề xuất. Trong cách tiếp cận này, hạt được xem là không có một lịch sử hay một quỹ đạo duy nhất trong không-thời gian. Thay vì thế, người ta xem nó đi từ A đến B theo mọi quỹ đạo khả dĩ. Mỗi một quỹ đạo được gắn liền với hai con số: một số biểu diễn biên độ của sóng, còn số kia biểu diễn vị trí trong chu kỳ (tức là ở đỉnh sóng hay ở hõm sóng). Xác suất để hạt đi từ A đến B

tìm được bằng cách cộng các sóng cho tất cả các quỹ đạo. Nói chung, nếu người ta so sánh tập hợp các quỹ đạo ở lân cận nhau, thì pha hay vị trí trong chu kỳ sẽ khác nhau nhiều. Điều này có nghĩa là các sóng gắn liền với những quỹ đạo đó sẽ gần như hoàn toàn triệt tiêu nhau. Tuy nhiên, đối với một số tập hợp các quỹ đạo lân cận nhau, pha không thay đổi nhiều lắm giữa các quỹ đạo. Những sóng của các quỹ đạo này sẽ không triệt tiêu nhau. Những quỹ đạo đó tương ứng với các quỹ đạo được phép của Bohr.

Với những ý tưởng đó và dưới một dạng toán học cụ thể, người ta có thể tính không khó khăn lắm những quỹ đạo được phép trong những nguyên tử phức tạp hơn, thậm chí trong cả các phân tử được tạo thành từ nhiều nguyên tử liên kết với nhau bằng các êlectron chuyển động trên những quỹ đạo vòng quanh nhiều hạt nhân. Vì cấu trúc của phân tử và các phản ứng của chúng với nhau là cơ sở của toàn bộ hóa học và sinh học, nên cơ học lượng tử, về nguyên tắc, tiên đoán được hầu như mọi thứ xung quanh chúng ta trong giới hạn do nguyên lý bất định quy định. (Tuy vậy, trên thực tế,những tính toán cho các hệ chứa nhiều êlectron là quá phức tạp và tự chúng ta không thể làm được).

Lý thuyết tương đối rộng của Einstein dường như điều khiển cấu trúc của vũ trụ trên quy mô lớn. Nó được gọi là lý thuyết cổ điển, tức là nó chưa tính đến nguyên lý bất định của cơ học lượng tử. Nguyên nhân tại sao điều này lại không dẫn đến những bất đồng với quan sát là vì tất cả những trường hấp dẫn mà chúng ta thường gặp đều rất yếu. Tuy nhiên, những định lý về kỳ dị được thảo luận ở trên chỉ ra rằng trường hấp dẫn sẽ trở nên rất mạnh ít nhất trong hai

tình huống: các lỗ đen và Vụ nổ lớn. Trong các trường hấp dẫn mạnh như thế, những hiệu ứng của cơ học lượng tử sẽ trở nên quan trọng. Theo nghĩa đó thì thuyết tương đối rộng cổ điển bằng sự tiên đoán những mật độ vô hạn, đã tiên đoán cả sự sụp đổ của chính mình, cũng hệt như cơ học cổ điển (tức là phi lượng tử) đã tiên đoán sự sụp đổ của nó bằng cách cho rằng các nguyên tử sẽ suy sập về trạng thái có mật độ vô hạn. Chúng ta hiện còn chưa có một lý thuyết hòa hợp hoàn chỉnh thống nhất thuyết tương đối rộng với cơ học lượng tử, nhưng chúng ta đã biết nhiều đặc điểm mà lý thuyết đó phải có. Các hệ quả rút ra từ những đặc điểm này đối với lỗ đen và Vụ nổ lớn sẽ được mô tả trong các chương sau. Tuy nhiên, bây giờ chúng ta sẽ chuyển sang những nỗ lực mới đây nhằm tổng kết sự hiểu biết của chúng ta về các lực khác nhau trong tự nhiên thành một lý thuyết lượng tử thống nhất và duy nhất.

5.

CÁC HẠT CƠ BẢN VÀ CÁC LỰC TRONG TỰ NHIÊN

Aristotle tin rằng toàn bộ vật chất trong vũ trụ được tạo thành từ bốn yếu tố cơ bản: đất, không khí, nước và lửa. Các yếu tố này được tác động bởi hai lực: lực hấp dẫn có xu hướng làm chìm xuống đối với đất và nước, và lực nâng có xu hướng làm nâng lên đối với không khí và lửa. Sự phân chia nội dung của vũ trụ thành vật chất và các lực như thế vẫn còn được dùng cho đến tận ngày nay.

Aristotle cũng tin rằng vật chất là liên tục, tức là có thể phân chia một mẩu vật chất ngày càng nhỏ mà không có một giới hạn nào: người ta không bao giờ đi tới một hạt vật chất mà không thể phân chia được nữa. Tuy nhiên, một số ít người Hy Lạp, chẳng hạn như Democritus, lại cho rằng vật chất vốn có dạng hạt và vạn vật được tạo thành từ một số lớn các loại nguyên tử (*atom*) khác nhau (*atom* theo tiếng Hy Lạp có nghĩa là "không thể phân chia được nữa"). Cuộc tranh cãi

kéo dài hàng thế kỷ mà không bên nào có một bằng chứng thực tế nào. Mãi tới năm 1830, John Dalton – nhà vật lý và hóa học người Anh – đã chỉ ra rằng việc các hợp chất hóa học luôn luôn được hóa hợp theo những tỷ lệ nhất định có thể được giải thích là do các nguyên tử đã cụm lại với nhau tạo nên những đơn nguyên được gọi là phân tử. Tuy nhiên, cho tới tận những năm đầu thế kỷ này, cuộc tranh luận giữa hai trường phái tư tưởng mới ngã ngũ với phần thắng thuộc về những người theo nguyên tử luận. Einstein là người đã đưa ra được một bằng chứng vật lý quan trọng. Trong một bài báo viết năm 1905, chỉ ít tuần trước bài báo nổi tiếng về thuyết tương đối hẹp, Einstein đã chỉ ra rằng cái được gọi là chuyển động Brown – tức là chuyển động không đều đặn, ngẫu nhiên của các hạt bụi lơ lửng trong một chất lỏng – có thể được giải thích như là kết quả va chạm của các nguyên tử chất lỏng với các hạt bụi.

Vào thời gian đó cũng đã có những nghi ngờ đối với giả thuyết cho rằng các nguyên tử là không thể phân chia được. Vài năm trước đó, một nghiên cứu sinh của trường Trinity College, Cambridge, là J.J.Thomson đã chứng minh được sự tồn tại của một hạt vật chất mà ông gọi là êlectron. Đó là một hạt có khối lượng nhỏ hơn khối lượng của nguyên tử nhẹ nhất khoảng một ngàn lần. Ông đã dùng một dụng cụ khá giống với chiếc đèn hình của một máy thu hình hiện đại: một sợi kim loại nóng đỏ phát ra các hạt êlectron và bởi vì các hạt này mang điện âm nên có thể dùng một điện trường để gia tốc chúng hướng tới một màn phủ photpho. Khi các hạt này đập vào màn, chúng sẽ gây ra những chớp sáng. Chẳng bao lâu sau, người ta thấy rằng các hạt êlectron đó bắn ra từ chính bên

trong các nguyên tử và vào năm 1911, nhà vật lý người Anh Ernest Rutherford cuối cùng đã chứng tỏ được rằng các nguyên tử vật chất có cấu trúc bên trong: chúng tạo bởi một hạt nhân cực kì nhỏ mang điện dương và các êlectron quay quanh hạt nhân đó. Ông rút ra điều này từ việc phân tích sự lệch hướng của các hạt anpha – hạt mang điện dương do các nguyên tử phóng xạ phát ra – khi va chạm với các nguyên tử.

Thoạt đầu người ta nghĩ rằng hạt nhân nguyên tử được tạo bởi êlectron và một số các hạt mang điện dương gọi là prôtôn (theo tiếng Hy Lạp *prôtôn* có nghĩa là "đầu tiên", vì người ta nghĩ rằng nó là đơn nguyên cơ bản tạo nên vật chất). Tuy nhiên, vào năm 1932 một đồng nghiệp của Rutherford ở Cambridge là James Chadwick đã phát hiện ra rằng hạt nhân còn chứa một hạt khác gọi là nơtrôn. Đó là hạt có khối lượng gần như prôtôn nhưng không mang điện. Chadwick đã được trao giải Nobel vì phát minh này và được bầu làm hiệu trưởng của trường Gonville và Caius College, Cambridge (trường mà tôi hiện là thành viên của ban giám hiệu). Sau này ông đã phải từ chức hiệu trưởng vì bất đồng với các thành viên trong ban giám hiệu. Sự bất đồng trong trường còn gay gắt hơn khi nhóm các thành viên lãnh đạo trẻ trở về sau chiến tranh đã bỏ phiếu loại những thành viên già ra khỏi các chức vụ của nhà trường mà họ đã giữ quá lâu. Chuyện này xảy ra trước thời của tôi. Tôi nhập trường năm 1965 vào đoạn chót của câu chuyện chua xót này, khi mà những bất đồng tương tự đã buộc một người được giải Nobel khác là ông Nevill Mott phải từ chức hiệu trưởng.

Tới tận gần hai mươi năm trước người ta vẫn còn nghĩ rằng prôtôn và nơtrôn là các hạt "cơ bản", nhưng các thí

nghiệm trong đó prôtôn va chạm với các prôtôn khác hoặc với các êlectron ở vận tốc cao đã chỉ ra rằng thực tế chúng được tạo thành từ các hạt nhỏ hơn. Các hạt này được nhà vật lý Murray Gell-Mann ở Học viện Công nghệ California (Caltech) gọi là các hạt quark. Chính nhờ công trình về các hạt này mà ông đã được trao giải thưởng Nobel vào năm 1969. Nguồn gốc của cái tên này là một câu trích dẫn đầy bí ẩn từ một cuốn tiểu thuyết của nhà văn nổi tiếng James Joyce: *Ba quark cho Muster Mark.*

Có nhiều loại quark khác nhau: ít nhất có tới sáu "mùi" mà người ta gọi là u (up), d (down), s (strange), c (charmed), b (bottom), và t (top). Mỗi một mùi lại có ba "màu": đỏ, xanh và lục. (Cần phải nhấn mạnh rằng các quark có bước sóng nhỏ hơn ánh sáng nhìn thấy rất nhiều và vì vậy không có màu theo nghĩa thông thường. Đó chỉ là vì các nhà vật lý hiện đại được tự do tưởng tượng hơn trong việc đặt tên cho các hạt và các hiện tượng mới, chứ không như trước bị bó hẹp trong tiếng Hy Lạp). Prôtôn và nơtrôn được tạo ra từ ba quark, mỗi quark một màu. Một prôtôn chứa hai quark u và một quark d, còn nơtrôn chứa hai quark d và một quark u. Chúng ta cũng có thể tạo ra các hạt từ những quark khác (s, c, b và t), nhưng tất cả chúng đều có khối lượng lớn hơn nhiều và sẽ phân rã rất nhanh thành prôtôn và nơtrôn.

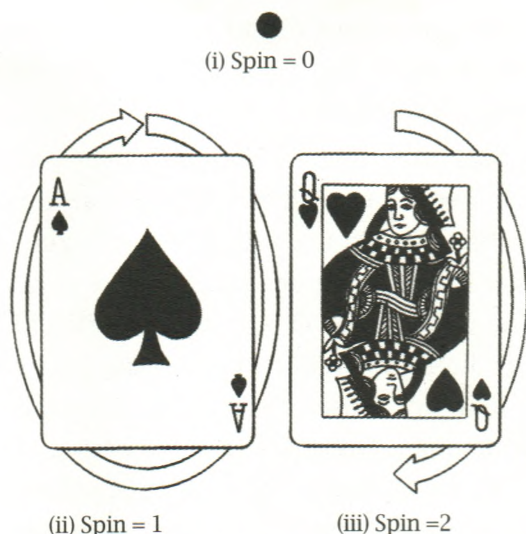
Như vậy, hiện nay chúng ta biết rằng các nguyên tử cũng như các prôtôn và nơtrôn đều không phải là không phân chia được nữa. Thành thử một câu hỏi được đặt ra: các hạt thực sự là cơ bản, những viên gạch tạo nên vạn vật là gì? Vì bước sóng của ánh sáng lớn hơn nhiều so với kích thước của nguyên tử, nên chúng ta không thể "nhìn" các thành phần

của nguyên tử theo cách thông thường được. Chúng ta cần phải dùng cái gì đó có bước sóng nhỏ hơn. Như chúng ta đã thấy ở chương trước, cơ học lượng tử nói với chúng ta rằng thực tế các hạt đều là sóng và năng lượng của hạt càng cao thì bước sóng tương ứng càng nhỏ. Như vậy câu trả lời tốt nhất cho câu hỏi của chúng ta tùy thuộc vào năng lượng của hạt có thể đạt cao tới mức nào, bởi vì điều đó quyết định chúng ta có thể nhìn được thang chiều dài nhỏ tới mức nào. Năng lượng này của các hạt thường được đo bằng đơn vị gọi là êlectron-vôn. (Trong các thí nghiệm của Thomson với các êlectron, chúng ta đã thấy rằng ông dùng điện trường để gia tốc các hạt này. Năng lượng mà một êlectron thu từ điện trường 1 vôn chính là một êlectron-vôn). Ở thế kỷ 19, khi năng lượng các hạt mà con người biết cách sử dụng là những năng lượng thấp chỉ cỡ mấy êlectron-vôn, được sinh ra từ các phản ứng hóa học như sự cháy chẳng hạn, người ta nghĩ rằng nguyên tử là phần tử nhỏ nhất. Trong thí nghiệm của Rutherford năng lượng của hạt anpha cỡ hàng triệu êlectron-vôn. Và gần đây hơn nữa, chúng ta đã biết cách dùng các trường điện từ để làm cho năng lượng của hạt lúc đầu đạt tới hàng triệu rồi sau đó tới hàng tỉ êlectron-vôn. Và nhờ thế chúng ta biết được rằng các hạt mà hai mươi năm trước người ta nghĩ là "cơ bản", thì thực tế lại được tạo thành từ các hạt nhỏ hơn nữa, nhưng liệu các hạt nhỏ này, đến lượt mình, có được tạo thành từ những hạt nhỏ hơn nữa không? Điều này cũng rất có thể, nhưng chúng ta có những căn cứ lý thuyết để tin rằng chúng ta có hoặc rất gần tới có sự hiểu biết về những viên gạch cuối cùng này của tự nhiên.

Dùng lưỡng tính sóng/hạt được thảo luận ở chương trước,

vạn vật trong vũ trụ, kể cả ánh sáng và hấp dẫn, đều có thể được mô tả thông qua các hạt. Các hạt này có một tính chất được gọi là spin. Một cách dễ hình dung về spin là hãy tưởng tượng các hạt như những con quay xung quanh trục của nó. Tuy điều này có thể dẫn đến những điều hiểu lầm, vì theo cơ học lượng tử thì các hạt không có một trục quay nào thật xác định cả. Điều mà spin của một hạt nói với chúng ta là hạt nhìn giống như cái gì từ các hướng khác nhau. Một hạt có spin 0 giống như một chấm tròn: nó nhìn từ mọi hướng đều giống hệt nhau. (H.5.1-i). Trái lại, hạt có spin 1 lại giống như một mũi tên: nhìn từ các hướng khác nhau sẽ thấy nó khác nhau (H.5.1ii). Chỉ nếu người ta quay nó trọn một vòng (360^0) thì hạt mới nhìn giống như trước. Hạt có spin 2 giống như một mũi tên có hai đầu (H.5.1.iii): nó nhìn giống như trước nếu quay một nửa vòng (180^0). Tương tự, các hạt có spin cao hơn sẽ nhìn giống như trước nếu quay nó một phần nhỏ hơn của một vòng trọn vẹn. Toàn bộ điều này xem ra có vẻ khá đơn giản, nhưng một điều đáng chú ý là có những hạt nhìn lại không giống như trước dù có quay nó trọn một vòng, muốn nhìn nó giống như trước phải quay trọn đúng hai vòng. Những hạt như vậy người ta nói là có spin 1/2.

Tất cả các hạt trong vũ trụ mà chúng ta biết được chia làm hai nhóm: các hạt có spin 1/2 tạo nên vật chất trong vũ trụ và các hạt có spin 0, 1, 2, như chúng ta sẽ thấy, là những hạt gây ra các lực giữa các hạt vật chất. Các hạt vật chất tuân theo cái được gọi là nguyên lý loại trừ Pauli. Điều này được phát hiện vào năm 1925 bởi nhà vật lý người áo Wolfgang Pauli và vì thế ông đã được trao giải thưởng Nobel vào năm 1945. Ông là một nhà vật lý lý thuyết điển hình: người ta nói



Hình 5.1

rằng thậm chí sự có mặt của ông ở một thành phố nào đó cũng làm cho mọi thí nghiệm ở đó sai lạc hết! Nguyên lý loại trừ Pauli phát biểu rằng hai hạt đồng nhất không thể tồn tại trong cùng một trạng thái, tức là chúng không thể vừa có cùng vị trí vừa có cùng vận tốc, trong giới hạn được quy định bởi nguyên lý bất định. Nguyên lý loại trừ Pauli là cực kì quan trọng vì nó cho phép giải thích tại sao các hạt vật chất không co về trạng thái có mật độ rất cao dưới ảnh hưởng của các lực tạo bởi những hạt có spin 0, 1 và 2: nếu các hạt vật chất có vị trí rất gần nhau, thì chúng lại phải có vận tốc khác nhau mà điều này có nghĩa là chúng không dừng lâu ở một vị trí. Nếu thế giới được tạo ra không có nguyên lý loại trừ, thì các quark sẽ không tạo nên các prôtôn và nơtrôn tách biệt và hoàn toàn xác định. Và cùng với các êlectron chúng cũng

sẽ không tạo nên các nguyên tử tách biệt và hoàn toàn xác định. Khi đó tất cả chúng sẽ suy sập tạo nên một món "súp" đặc và tương đối đồng đều.

Sự hiểu biết đúng đắn về êlectron và các hạt có spin 1/2 khác chỉ có vào năm 1928 khi Paul Dirac đưa ra một lý thuyết mới. Sau này Dirac đã được bầu làm giáo sư toán học ở Cambridge (cương vị trước kia của Newton và của tôi hiện nay). Lý thuyết của Dirac là lý thuyết đầu tiên hòa hợp được cả với cơ học lượng tử và thuyết tương đối hẹp. Nó giải thích được bằng toán học tại sao êlectron lại có spin 1/2, tức là tại sao nó nhìn không giống như trước nếu chúng ta quay nó chỉ trọn một vòng và sẽ nhìn giống như trước nếu chúng ta quay nó trọn hai vòng. Lý thuyết của Dirac còn tiên đoán rằng êlectron có một phản hạt của nó: đó là phản-êlectron hay còn gọi là pôsitrôn. Việc phát hiện được hạt pôsitrôn vào năm 1932 đã khẳng định lý thuyết của Dirac và dẫn tới việc ông được trao giải thưởng Nobel về vật lý vào năm 1933. Bây giờ thì chúng ta đều biết rằng mỗi một hạt đều có một phản hạt và hạt với phản hạt của nó có thể hủy nhau. (Trong trường hợp các hạt mang lực thì phản hạt giống hệt như chính hạt đó). Như vậy có thể có cả các phản thế giới, phản nhân loại được tạo thành từ các phản hạt. Tuy nhiên, nếu bạn gặp phản của chính bạn thì chớ có bắt tay đấy! Vì cả hai sẽ biến mất trong chớp mắt. Vấn đề tại sao xung quanh chúng ta số hạt lại đông hơn các phản hạt rất nhiều là một vấn đề quan trọng, và tôi sẽ trở lại vấn đề này ở cuối chương.

Trong cơ học lượng tử, người ta cho rằng các lực hoặc tương tác giữa các hạt vật chất được truyền bởi các hạt có spin nguyên 0, 1 hoặc 2. Điều này xảy ra như sau. Một hạt

vật chất, ví dụ một êlectron hoặc một hạt quark, phát ra một hạt truyền tương tác. Sự giật lùi do việc phát này luôn làm thay đổi vận tốc của hạt vật chất đó. Sau đó hạt truyền va chạm với một hạt vật chất khác và bị hạt này hấp thụ. Kết quả vận tốc của hạt thứ hai cũng bị thay đổi hệt như có một lực tác dụng giữa hai hạt vật chất đó.

Một tính chất quan trọng của các hạt truyền tương tác là chúng không tuân theo nguyên lý loại trừ. Điều này có nghĩa là có một số không hạn chế các hạt như vậy được trao đổi giữa các hạt và vì vậy có thể làm cho lực trở nên rất mạnh. Tuy nhiên, nếu các hạt truyền tương tác có khối lượng lớn, thì chúng sẽ khó được tạo ra và khó trao đổi trên khoảng cách lớn. Vì vậy lực do các hạt đó mang sẽ có tầm tác dụng ngắn. Ngược lại, nếu các hạt truyền tương tác không có khối lượng thì lực có tầm tác dụng dài. Các hạt truyền tương tác được trao đổi giữa những hạt vật chất được gọi là các hạt ảo bởi vì, không giống như các hạt "thực", chúng không thể được phát hiện trực tiếp bằng một máy dò hạt nào. Tuy nhiên, chúng ta biết chúng tồn tại, vì chúng gây ra hiệu ứng có thể đo được: đó là lực giữa các hạt vật chất. Các hạt có spin 0, 1 hoặc 2 trong một số trường hợp có thể tồn tại như những hạt thực khi chúng có thể được phát hiện trực tiếp. Khi đó đối với chúng ta chúng giống như cái mà các nhà vật lý cổ điển gọi là các sóng như sóng ánh sáng hoặc sóng hấp dẫn. Các sóng này thi thoảng có thể được phát ra khi các hạt vật chất tương tác với nhau bằng cách trao đổi hạt lực ảo. (Ví dụ, lực đẩy tĩnh điện giữa hai êlectron là do sự trao đổi các phôtôn ảo mà ta không bao giờ phát hiện được trực tiếp; nhưng nếu một êlectron chuyển động qua một êlectron khác

thì các phôtôn thực có thể được phát ra và chúng ta phát hiện được chúng như các sóng ánh sáng). Các hạt truyền tương tác có thể nhóm lại thành bốn loại tùy theo cường độ của lực mà chúng mang và các hạt vật chất mà chúng tương tác. Cần nhấn mạnh rằng sự phân chia thành bốn loại này có tính chất nhân tạo, nó chỉ thuận tiện cho việc xây dựng các lý thuyết riêng phần mà thôi, chứ không tương ứng với một điều gì sâu sắc hơn. Xét đến cùng, phần đông các nhà vật lý đều hi vọng tìm được một lý thuyết thống nhất có khả năng giải thích bốn loại lực nói trên chỉ là những mặt khác nhau của một lực duy nhất. Thực tế, nhiều người còn nói rằng đó là mục tiêu hàng đầu của vật lý học ngày nay. Mới đây, người ta đã thành công trong việc thống nhất được ba trong số bốn loại lực trên và tôi sẽ đề cập đến vấn đề này ở cuối chương. Vấn đề thống nhất nốt lực còn lại là lực hấp dẫn ta sẽ đề cập đến sau.

Loại lực đầu tiên là lực hấp dẫn. Lực này có tính chất phổ quát, tức là mọi hạt đều cảm thấy nó tùy theo khối lượng hoặc năng lượng của hạt. Trong số bốn lực, thì lực hấp dẫn là yếu nhất, yếu tới mức chúng ta sẽ không thể nhận thấy nó, nếu nó không có hai tính chất đặc biệt sau: nó có thể tác dụng trên khoảng cách lớn và luôn luôn là lực hút. Điều này có nghĩa là những lực hấp dẫn rất yếu giữa các hạt cá thể thuộc hai vật thể lớn, chẳng hạn như Trái đất và Mặt trời, có thể được cộng gộp lại để tạo nên một lực lớn. Ba loại lực còn lại, hoặc có tầm tác dụng ngắn, hoặc đôi khi là lực hút và đôi khi lại là lực đẩy, vì vậy chúng có xu hướng triệt tiêu nhau. Theo cách nhìn nhận của cơ học lượng tử đối với lực hấp dẫn, thì lực giữa hai hạt vật chất được mang bởi một hạt có spin 2, gọi là hạt graviton. Hạt này không có khối lượng riêng và vì

vậy có tầm tác dụng dài. Lực hấp dẫn giữa Trái đất và Mặt trời chính là do sự trao đổi các graviton giữa các hạt tạo nên hai vật thể đó. Mặc dù các hạt được trao đổi là ảo, nhưng điều chắc chắn là chúng tạo ra một hiệu ứng đo được – đó là làm cho Trái đất quay xung quanh Mặt trời. Các graviton thực tạo nên cái mà các nhà vật lý cổ điển gọi là các sóng hấp dẫn, chúng rất yếu và khó phát hiện tới mức cho đến nay vẫn chưa quan sát được.

Loại lực tiếp sau là lực điện từ. Đây là lực tương tác giữa các hạt mang điện như các êlectron và các quark, chứ không phải giữa các hạt không mang điện như graviton. Lực này lớn hơn lực hấp dẫn nhiều: lực điện từ giữa hai êlectron khoảng triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu (một với bốn mươi hai số không tiếp sau) lần lớn hơn lực hấp dẫn giữa chúng. Tuy nhiên, có hai loại điện tích, điện tích âm và điện tích dương. Lực giữa hai điện tích dương cũng như lực giữa hai điện tích âm đều là lực đẩy, trong khi lực giữa một điện tích dương và một điện tích âm lại là lực hút. Một vật thể lớn như Trái đất hoặc Mặt trời chứa các điện tích dương và âm với số lượng gần như nhau. Vì vậy lực hút và lực đẩy giữa các hạt cá thể gần như triệt tiêu nhau và lực điện từ tổng cộng còn lại rất nhỏ. Tuy nhiên, ở quy mô nhỏ như các nguyên tử và phân tử lực điện từ lại chiếm ưu thế. Lực hút điện từ giữa các êlectron mang điện âm và các prôtôn mang điện dương trong hạt nhân làm cho các êlectron quay xung quanh hạt nhân của nguyên tử, hệt như lực hấp dẫn làm cho Trái đất quay xung quanh Mặt trời. Lực điện từ được hình dung như được gây bởi sự trao đổi một số lớn các hạt ảo không khối lượng, có spin 1 gọi là các phôtôn. Các phôtôn được trao đổi

là các hạt ảo. Tuy nhiên, khi êlectron chuyển từ một quỹ đạo được phép này sang một quỹ đạo được phép khác gần hạt nhân hơn, năng lượng sẽ được giải phóng và một phôtôn thực được phát ra, phôtôn này có thể quan sát được bằng mắt người nếu nó có bước sóng ứng với ánh sáng nhìn thấy hoặc bởi một detector như phim ảnh, chẳng hạn. Cũng như vậy, nếu một phôtôn thực va chạm với một nguyên tử, nó có thể làm cho một êlectron chuyển từ một quỹ đạo gần hạt nhân hơn sang một quỹ đạo xa hơn. Quá trình này đã sử dụng hết năng lượng của phôtôn, vì vậy nó đã bị hấp thụ.

Loại lực thứ ba được gọi là lực hạt nhân yếu. Nó gây ra sự phóng xạ và chỉ tác dụng lên các hạt có spin 1/2 chứ không tác dụng lên các hạt spin 0, 1 hoặc 2 như phôtôn và graviton. Lực hạt nhân yếu chỉ được hiểu một cách thấu đáo từ năm 1967, khi Abdus Salam ở trường Imperal College, London và Steven Weinberg ở Đại học Harvard đưa ra các lý thuyết thống nhất tương tác này với tương tác điện từ, hệt như Maxwell đã thống nhất lực điện với lực từ khoảng 100 năm trước. Họ đưa ra giả thuyết cho rằng ngoài phôtôn còn có ba hạt spin 1 khác gọi là các hạt boson vectơ nặng mang lực yếu. Đó là các hạt W^+, W^- và Z^0, mỗi hạt có khối lượng khoảng 100 Gev (GeV là giga êlectron-vôn, bằng một tỷ êlectron-vôn). Lý thuyết Weinberg - Salam đã đưa ra một tính chất gọi là sự phá vỡ đối xứng tự phát. Điều này có nghĩa là một số hạt tưởng như là hoàn toàn khác nhau ở năng lượng thấp thực tế lại là cùng một loại hạt, chỉ có điều ở các trạng thái khác nhau mà thôi. Ở năng lượng cao tất cả các hạt này xử sự hoàn toàn tương tự nhau. Hiệu ứng này khá giống hành trạng của quả cầu trong trò quay xổ số. Ở năng lượng cao (tức khi

bánh xe quay nhanh) quả cầu về căn bản xử sự theo một cách, đó là quay tròn, quay tròn. Nhưng khi bánh xe quay chậm lại, năng lượng của quả cầu giảm và cuối cùng quả cầu sẽ rơi vào một trong số 36 rãnh trong bánh xe. Nói một cách khác, ở năng lượng thấp quả cầu có thể tồn tại trong 36 trạng thái khác nhau. Nếu vì một nguyên nhân nào đó, chúng ta chỉ có thể quan sát được quả cầu ở năng lượng thấp, ta có thể nghĩ rằng có 36 loại quả cầu khác nhau.

Trong lý thuyết Weinberg-Salam, ở những năng lượng lớn hơn 100 GeV nhiều, ba hạt mới nói ở trên và phôtôn xử sự một cách hoàn toàn tương tự nhau. Nhưng ở những năng lượng thấp hơn, điều mà ta hay gặp trong những tình huống bình thường, thì sự đối xứng này giữa các hạt sẽ bị phá vỡ. W^+, W^- và Z^0 khi đó sẽ có khối lượng lớn và làm cho các lực mà chúng mang có tầm tác dụng ngắn. Vào thời Salam và Weinberg đưa ra lý thuyết của mình còn ít người tin họ và các máy gia tốc hạt còn chưa đủ mạnh để đạt tới năng lượng 100GeV- năng lượng cần phải có để tạo ra các hạt W^+, W^- và Z^0 thực. Tuy nhiên, khoảng gần mười năm sau, những tiên đoán khác của lý thuyết đó ở năng lượng thấp phù hợp rất tốt với thực nghiệm, khiến cho vào năm 1979 Salam và Weinberg đã được trao giải thưởng Nobel về vật lý cùng với Sheldon Glashow, một nhà vật lý cũng ở Đại học Harvard và cũng đưa ra một lý thuyết tương tự thống nhất lực điện từ và lực hạt nhân yếu. Ủy ban trao giải Nobel đã hoàn toàn yên tâm, không sợ đã mắc sai lầm khi mà vào năm 1983 tại CERN (Trung tâm nghiên cứu hạt nhân châu Âu) người ta đã phát hiện được ba hạt W^+, W^- và Z^0 với khối lượng và các tính chất khác đúng như lý thuyết đã tiên đoán. Carlo Rubbia, người

lãnh đạo một nhóm nghiên cứu gồm khoảng vài trăm nhà vật lý – tác giả của phát minh đó – đã được trao giải thưởng Nobel vào năm 1984 cùng với Simon Van der Meer, một kỹ sư ở CERN, người đã phát triển một hệ thống tích lũy phản vật chất được sử dụng trong phát minh trên. (Thật khó đặt một dấu ấn trong vật lý thực nghiệm những ngày này nếu bạn không ở đỉnh cao!).

Loại lực thứ tư là lực hạt nhân mạnh. Đây là lực giữ cho các hạt quark ở trong prôtôn và nơtrôn và cũng giữ cho prôtôn và nơtrôn ở trong hạt nhân nguyên tử. Người ta tin rằng lực này được mang bởi một hạt có spin 1 khác gọi là gluon. Hạt gluon chỉ tương tác với chính nó và với các quark. Lực hạt nhân mạnh có một tính chất rất lạ gọi là sự cầm tù: nó luôn luôn liên kết các hạt này lại thành những tổ hợp không có mầu.

Như vậy, ta không thể có một hạt quark riêng rẽ tự nó vì nó sẽ có màu (đỏ, xanh hoặc lục). Thay vì thế, một quark đỏ cần phải liên kết với một quark xanh và một quark lục bằng một "dây" các gluon (đỏ + xanh + lục = trắng). Một tam tuyến như thế tạo nên một prôtôn hoặc nơtrôn. Một khả năng khác là cặp tạo bởi một quark và một phản quark (đỏ + phản-đỏ, hoặc xanh + phản-xanh, hoặc lục + phản-lục = trắng). Các tổ hợp như vậy tạo nên các hạt đã biết có tên là meson, đó là các hạt không bền, vì quark và phản quark có thể hủy nhau tạo thành các êlectron và các hạt khác. Tương tự, sự cầm tù cũng không cho phép có một gluon riêng lẻ tự nó, vì các gluon cũng có màu. Thay vì thế, người ta cần phải có một tập hợp các gluon với tổng màu là trắng. Một tập hợp như thế tạo nên một hạt không bền gọi là glueball.

Việc sự cầm tù không cho phép chúng ta quan sát được một hạt quark hoặc một gluon cô lập dường như làm cho toàn bộ khái niệm về các quark và gluon với tư cách là các hạt trở nên hơi có vẻ siêu hình. Tuy nhiên, lực hạt nhân mạnh còn có một tính chất khác gọi là sự tự do tiệm cận làm cho khái niệm về các hạt quark và gluon trở nên hoàn toàn xác định. Ở những năng lượng bình thường, lực hạt nhân mạnh thực tế là rất mạnh và nó liên kết các hạt quark rất chặt với nhau. Tuy nhiên, những thực nghiệm trên các máy gia tốc lớn cho thấy ở những năng lượng cao, lực mạnh trở nên yếu hơn nhiều và các quark cũng như các gluon xử sự gần như các hạt tự do. Hình 5.2 cho thấy bức ảnh chụp sự va chạm của một prôtôn và một phản-prôtôn ở năng lượng cao. Một số hạt quark gần như tự do đã được tạo ra và làm xuất hiện các "tia" vết nhìn rõ trên hình vẽ.

Thành công của sự thống nhất các lực điện từ và hạt nhân yếu đã dẫn tới nhiều cố gắng định kết hợp hai lực này với lực hạt nhân mạnh nhằm xây dựng một lý thuyết gọi là lý thuyết thống nhất lớn (viết tắt là GUT – *Grand unified theory*). Cái tên này có vẻ hơi cường điệu, vì các lý thuyết như vậy chưa hoàn toàn là lớn và cũng chưa thống nhất được hoàn toàn do chúng không bao gồm cả lực hấp dẫn. Chúng cũng lại chưa phải là những lý thuyết thực sự hoàn chỉnh vì còn chứa nhiều tham số có giá trị không thể tiên đoán được từ lý thuyết mà lại phải chọn để làm khớp với thực nghiệm. Tuy nhiên, những lý thuyết này là một bước tiến tới một lý thuyết thống nhất đầy đủ và hoàn chỉnh. Tư tưởng cơ bản của các GUT là: như đã nói ở trên, lực hạt nhân mạnh trở nên yếu hơn khi ở năng lượng cao. Trái lại, các lực điện từ và hạt nhân yếu –



Hình 5.2. Prôtôn và phản-prôtôn va chạm ở năng lượng cao tạo ra ba quark gần như tự do.

vốn không có tính tự do tiệm cận – lại mạnh hơn lên ở những năng lượng đó. Vì vậy, ở một năng lượng rất cao nào đó – gọi là năng lượng thống nhất lớn – cả ba lực này sẽ có cường độ như nhau và như vậy có thể chỉ là những mặt khác nhau của cùng một lực duy nhất. Các GUT cũng tiên đoán ở năng lượng này, các hạt vật chất khác nhau có spin 1/2, như các quark và êlectron, về căn bản cũng sẽ hoàn toàn như nhau và như vậy là đạt tới một sự thống nhất nữa.

Giá trị của năng lượng thống nhất lớn còn chưa được biết một cách chính xác, nhưng có lẽ ít nhất cũng phải cỡ một ngàn triệu triệu GeV. Thế hệ các máy gia tốc hạt hiện nay có thể làm cho các hạt va chạm ở năng lượng cỡ 100 GeV và các máy gia tốc dự định sẽ xây dựng có thể nâng con số này lên tới cỡ vài ngàn GeV. Nhưng một máy đủ mạnh để gia tốc các

hạt tới năng lượng thống nhất lớn phải có kích thước cỡ gần bằng cả Hệ Mặt trời, điều mà bối cảnh kinh tế hiện nay không cho phép. Như vậy, ta không thể kiểm chứng các GUT một cách trực tiếp trong phòng thí nghiệm được. Tuy nhiên, cũng như đối với trường hợp lý thuyết thống nhất lực điện từ và hạt nhân yếu, có những hệ quả của lý thuyết ở năng lượng thấp mà chúng ta có thể kiểm chứng được.

Lý thú nhất trong số các hệ quả này là tiên đoán cho rằng các prôtôn – tức là các hạt tạo nên phần lớn khối lượng của vật chất thông thường – có thể tự phát phân rã thành các hạt nhẹ hơn như các phản êlectron, chẳng hạn. Sở dĩ điều này có thể là bởi vì ở năng lượng thống nhất lớn không có sự khác nhau căn bản giữa quark và phản êlectron. Ba quark trong prôtôn thường không có đủ năng lượng để biến đổi thành các phản-êlectron, nhưng rất hiếm hoi, có thể một trong ba hạt đó có đủ năng lượng để thực hiện biến đổi trên, bởi vì nguyên lý bất định nói rằng năng lượng của các quark trong prôtôn không thể cố định một cách chính xác. Và khi đó prôtôn có thể phân rã. Xác suất để một hạt quark có đủ năng lượng là thấp tới mức người ta cần phải chờ đợi khoảng một triệu triệu triệu triệu triệu (1 và ba mươi con số 0 tiếp sau) năm. Điều đó còn lớn hơn nhiều so với thời gian từ vụ nổ lớn đến bây giờ – vì thời gian này chỉ khoảng mười tỷ (1 và mười số không tiếp sau) năm. Như vậy, người ta có thể xem rằng khả năng phân rã tự phát của prôtôn là không thể kiểm chứng bằng thực nghiệm được. Tuy nhiên, người ta có thể tăng cơ may phát hiện được phân rã này bằng cách quan sát một số lượng lớn vật chất chứa một số rất lớn prôtôn. (Ví dụ, nếu người ta quan sát một số lượng prôtôn cỡ 1 và ba mươi số không tiếp

sau trong suốt một năm, thì theo lý thuyết thống nhất lớn đơn giản nhất, người ta có thể hy vọng quan sát được hơn một phân rã của prôtôn).

Nhiều thí nghiệm như thế đã được thực hiện, nhưng chưa có một thí nghiệm nào cho một bằng chứng xác thực về sự phân rã của prôtôn hoặc nơtrôn. Một thí nghiệm đã dùng tới 8000 tấn nước và được thực hiện ở mỏ muối Morton bang Ohio, Hoa Kỳ (để tránh những sự kiện khác do tia vũ trụ gây ra lẫn lộn với sự phân rã của prôtôn). Vì không có một phân rã tự phát nào của prôtôn quan sát được trong quá trình thực nghiệm, người ta ước tính rằng thời gian sống của prôtôn phải lớn hơn 10 triệu triệu triệu triệu triệu (1với ba mươi số không) năm. Con số này còn lớn hơn cả thời gian sống của prôtôn được tiên đoán bởi lý thuyết thống nhất lớn đơn giản nhất, nhưng cũng có những lý thuyết tinh xảo hơn tiên đoán thời gian sống đó còn lâu hơn. Như vậy cần phải có những thí nghiệm nhạy hơn nữa dùng những lượng vật chất còn lớn hơn nữa để kiểm chứng những lý thuyết đó.

Mặc dù rất khó quan sát được sự phân rã tự phát của prôtôn nhưng cũng có thể chính sự tồn tại của chúng ta lại là kết quả của quá trình ngược lại, quá trình tạo ra các prôtôn hay đơn giản hơn là tạo ra các quark từ một tình huống ban đầu trong đó số quark không nhiều hơn số phản-quark – giả thuyết này là cách tự nhiên nhất để hình dung sự khởi phát của vũ trụ. Vật chất trên Trái đất chủ yếu được tạo bởi các prôtôn và nơtrôn, và đến lượt mình các hạt này được tạo bởi các quark. Hoàn toàn không có các phản-prôtôn và phản-nơtrôn tạo bởi các phản-quark, trừ một số ít do các nhà vật lý tạo ra trong các máy gia tốc lớn. Chúng ta có những bằng

chứng từ các tia vũ trụ cho thấy điều này cũng đúng đối với vật chất trong thiên hà chúng ta: không có các phản-prôtôn và phản-nơtrôn trừ một số ít được tạo ra như các cặp hạt/ phản-hạt trong các va chạm ở năng lượng cao. Nếu có những vùng lớn phản-vật chất trong thiên hà chúng ta thì chúng ta phải quan sát thấy những lượng lớn bức xạ tới từ vùng giáp ranh giữa các vùng vật chất và phản-vật chất, nơi nhiều hạt có thể va chạm với các phản-hạt của chúng rồi hủy nhau tạo thành bức xạ năng lượng cao.

Chúng ta không có bằng chứng trực tiếp cho thấy vật chất ở các thiên hà khác được tạo ra bởi các prôtôn và nơtrôn, hay bởi các phản-prôtôn và phản-nơtrôn, nhưng nó phải chỉ là loại này hoặc loại kia: không thể có sự hỗn hợp trong một thiên hà, bởi vì nếu như vậy chúng ta lại sẽ phải quan sát được một lượng lớn bức xạ sinh ra do sự hủy. Do đó, chúng ta tin rằng tất cả các thiên hà đều được tạo bởi các quark hơn là các phản-quark, còn khả năng một số thiên hà là vật chất và một số thiên hà khác là phản-vật chất là điều rất đáng ngờ.

Vậy tại sao số lượng các quark lại lớn hơn nhiều so với số lượng các phản-quark? Tại sao số lượng mỗi loại lại không bằng nhau? Cũng may cho chúng ta là số lượng của chúng không bằng nhau, bởi vì nếu không thì gần như hầu hết các quark và phản-quark sẽ hủy nhau ở giai đoạn đầu của vũ trụ và để cho vũ trụ chỉ còn chứa đầy bức xạ trừ một lượng rất ít vật chất. Khi đó sẽ chẳng có các thiên hà, chẳng có các vì sao và cũng chẳng có các hành tinh nơi đời sống của con người có thể phát triển được. May mắn thay, các lý thuyết thống nhất lớn đưa ra một cách lý giải tại sao vũ trụ hiện nay lại chứa một số lượng quark nhiều hơn phản-quark, thậm chí

nếu lúc bắt đầu số lượng mỗi loại bằng nhau. Như chúng ta đã thấy các GUT cho phép các quark biến đổi thành các êlectron ở năng lượng cao. Chúng cũng cho phép các quá trình ngược lại, các phản-quark biến thành êlectron và các êlectron và phản-êlectron biến thành phản-quark và quark. Có một thời gian trong giai đoạn rất sớm của vũ trụ khi mà vũ trụ nóng tới mức năng lượng của các hạt đủ cao để cho các biến hóa đó có thể xảy ra. Nhưng tại sao xu hướng biến thành quark lại nhiều hơn tạo thành phản-quark? Nguyên do là các định luật vật lý không hoàn toàn như nhau đối với các hạt và phản-hạt.

Cho đến tận năm 1956 người ta vẫn tin rằng các định luật vật lý đều tuân theo ba đối xứng có tên là C, P và T một cách riêng biệt. Đối xứng C có nghĩa là các định luật đối với hạt và phản-hạt là như nhau. Đối xứng P có nghĩa là các định luật là như nhau đối với một tình huống bất kỳ và ảnh gương của nó (ảnh gương của một hạt quay theo hướng phải sẽ là hạt quay theo hướng trái). Còn đối xứng T có nghĩa là nếu ta đảo ngược chiều chuyển động của tất cả các hạt và phản-hạt thì hệ sẽ trở lại các trạng thái mà nó đã qua ở những thời điểm sớm hơn, nói một cách khác, các định luật sẽ không thay đổi theo hướng tiến hoặc lùi của thời gian.

Năm 1956 hai nhà vật lý Mỹ là Tsung Dao Lee (Lý Chính Đạo) và Chen Ninh Yang (Dương Chấn Ninh) đã đưa ra giả thuyết rằng lực yếu thực tế không tuân theo đối xứng P. Nói một cách khác, lực yếu làm cho vũ trụ phát triển theo cách khác với cách mà ảnh gương của vũ trụ phát triển. Cũng năm đó một đồng nghiệp của họ là Chien Shiung Wu đã chứng minh được rằng tiên đoán đó là đúng đắn. Bà đã làm điều đó

bằng cách sắp hạt nhân của các nguyên tử phóng xạ trong từ trường sao cho chúng quay theo cùng một hướng và chứng tỏ rằng các êlectron được phát ra theo một hướng nhiều hơn theo hướng khác. Năm sau Lee và Yang đã được trao giải thưởng Nobel cho ý tưởng của họ. Người ta cũng thấy rằng lực yếu không tuân theo đối xứng C. Điều này có nghĩa là lực yếu làm cho vũ trụ gồm các phản hạt, xử sự khác với vũ trụ của chúng ta. Tuy nhiên, dường như lực yếu lại tuân theo đối xứng tổ hợp CP. Nghĩa là vũ trụ sẽ phát triển theo cách hệt như ảnh gương của nó nếu thêm vào đó mỗi hạt được thay bằng phản hạt của nó! Tuy nhiên, vào năm 1964 hai người Mỹ nữa là J.W. Cronin và Val Fitch đã phát hiện ra rằng đối xứng CP không được tuân theo trong phân rã của những hạt gọi là K-meson. Cronin và Fitch cuối cùng đã được trao giải thưởng Nobel cho công trình của họ vào năm 1980. (Khá nhiều giải thưởng đã được trao để chứng tỏ rằng vũ trụ không đơn giản như chúng ta đã nghĩ).

Có một định lý toán học nói rằng mọi lý thuyết tuân theo cơ học lượng tử và thuyết tương đối đều phải luôn luôn tuân theo đối xứng tổ hợp CPT. Nói một cách khác, vũ trụ sẽ xử sự như trước nếu ta thay hạt thành phản hạt, lấy ảnh gương và nghịch đảo hướng thời gian. Nhưng Cronin và Fitch đã chứng minh được rằng nếu người ta thay hạt bằng phản hạt và lấy ảnh gương nhưng không đảo hướng thời gian thì vũ trụ không xử sự như trước nữa. Do đó các định luật vật lý cần phải thay đổi nếu ta đổi hướng thời gian, nghĩa là chúng không tuân theo đối xứng T.

Chắc chắn là giai đoạn đầu của vũ trụ không tuân theo đối xứng T: vì thời gian trôi về phía trước theo hướng vũ trụ

giãn nở – nếu thời gian trôi giật lùi vũ trụ sẽ co lại. Và do có những lực không tuân theo đối xứng T, suy ra rằng vì vũ trụ giãn nở nên những lực này có thể làm cho các phản-êlectron biến thành quark nhiều hơn các êlectron biến thành phản-quark. Sau đó vì vũ trụ giãn nở và lạnh đi, các phản quark sẽ hủy với các quark, nhưng vì có nhiều quark hơn phản-quark nên một số nhỏ quark còn dư lại tạo nên vật chất mà chúng ta thấy hôm nay, trong đó có cả bản thân chúng ta. Như vậy, chính sự tồn tại của chúng ta có thể được xem như một bằng chứng khẳng định các lý thuyết thống nhất lớn, mặc dù mới chỉ là một khẳng định định tính mà thôi. Những bất định còn nhiều tới mức người ta không thể tiên đoán được số lượng các quark còn lại sau quá trình hủy hoặc thậm chí còn chưa tiên đoán được hạt còn lại là quark hay phản-quark. (Tuy nhiên, nếu số hạt dư thừa là phản-quark thì chúng ta đơn giản có thể gọi phản-quark là quark và quark là phản-quark).

Các lý thuyết thống nhất lớn không bao hàm lực hấp dẫn. Điều này không phải là quá nghiêm trọng bởi vì hấp dẫn là lực yếu tới mức các hiệu ứng của nó thường có thể bỏ qua khi đề cập tới các hạt cơ bản trong nguyên tử. Tuy nhiên, vì nó có tầm tác dụng xa và lại luôn luôn là lực hút nên các hiệu ứng của nó đều được cộng lại. Vì vậy đối với một số lượng hạt vật chất đủ lớn lực hấp dẫn có thể sẽ lấn át tất cả các lực khác. Điều này giải thích tại sao hấp dẫn chính là lực quyết định sự tiến hóa của vũ trụ. Thậm chí đối với các vật thể có kích thước như một ngôi sao thôi, lực hấp dẫn cũng đã có thể thắng tất cả các lực khác và làm cho ngôi sao bị co lại. Công trình của tôi trong những năm 1970 tập trung vào các lỗ đen

– một đối tượng có thể là kết quả co lại của một ngôi sao – và lực hấp dẫn xung quanh nó. Chính điều này đã dẫn tới những gợi ý đầu tiên về việc phải kết hợp cơ học lượng tử với thuyết tương đối rộng – một hình bóng đầu tiên về thuyết lượng tử của hấp dẫn trong tương lai.

6.

LỖ ĐEN

Thuật ngữ lỗ đen có nguồn gốc còn rất mới. Nó được nhà khoa học người Mỹ John Wheeler đưa ra vào năm 1969 nhằm mô tả một cách hình tượng một ý tưởng bắt nguồn ít nhất khoảng hai trăm năm trước, vào thời mà còn có hai lý thuyết về ánh sáng: một lý thuyết được Newton ủng hộ cho rằng ánh sáng được tạo thành từ các hạt, còn lý thuyết kia cho rằng nó được tạo thành từ các sóng. Hiện nay ta biết rằng cả hai lý thuyết đều đúng. Theo quan điểm nhị nguyên sóng/hạt của cơ học lượng tử, thì ánh sáng có thể xem như vừa là sóng, vừa là hạt. Theo lý thuyết sóng về ánh sáng thì không rõ ánh sáng sẽ phản ứng thế nào đối với hấp dẫn. Nhưng nếu ánh sáng được tạo thành từ các hạt thì người ta có thể nghĩ rằng nó sẽ bị tác động bởi hấp dẫn hệt như các viên đạn đại bác, tên lửa và các hành tinh. Ban đầu người ta tưởng rằng ánh sáng truyền với vận tốc lớn vô hạn và như thế thì hấp dẫn không thể nào làm nó chậm lại được, nhưng phát minh của Roemer cho thấy ánh sáng truyền với vận tốc hữu hạn, điều đó có nghĩa là hấp dẫn có thể có tác động quan trọng.

Dựa trên giả thuyết đó, một giảng viên của đại học Cambridge là John Michell đã viết một bài báo in trên tạp chí *Những văn kiện triết học của Hội Hoàng gia London* (Philosophical Transaction of the Royal Society of London) vào năm 1783, trong đó ông chỉ ra rằng một ngôi sao đủ nặng và đặc có thể có trường hấp dẫn mạnh tới mức không cho ánh sáng thoát ra được: bất kỳ ánh sáng nào phát ra từ bề mặt ngôi sao đó cũng đều bị kéo ngược trở lại trước khi nó kịp truyền đi rất xa. Michell cho rằng có thể có một số rất lớn những sao như vậy. Tuy chúng ta không thể nhìn thấy những ngôi sao đó vì ánh sáng từ chúng không đến được chúng ta, nhưng vẫn cảm thấy được lực hút hấp dẫn của chúng. Những đối tượng đó là cái bây giờ chúng ta gọi là lỗ đen, bởi vì thực tế chúng là những khoảng đen trong vũ trụ. Một giả thuyết tương tự cũng được một nhà khoa học người Pháp là hầu tước de Laplace đưa ra sau đó ít năm, tất nhiên là độc lập với Michell. Một điều khá lý thú là Laplace chỉ đưa ra giả thuyết này vào lần xuất bản thứ nhất và thứ hai của cuốn sách *Hệ thống thế giới*, nhưng rồi lại bỏ đi trong những lần xuất bản sau, chắc ông cho rằng đó là một ý tưởng điên rồ. (Cũng như lý thuyết hạt của ánh sáng không được ủng hộ trong suốt thế kỷ 19, và dường như mọi chuyện đều có thể giải thích bằng lý thuyết sóng, nhưng theo lý thuyết sóng thì hoàn toàn không rõ ánh sáng bị lực hấp dẫn tác động như thế nào).

Thực tế, xem ánh sáng như những viên đạn đại bác trong lý thuyết hấp dẫn của Newton là hoàn toàn không thích hợp bởi vì ánh sáng có vận tốc cố định. (Một viên đạn đại bác khi bắn lên từ mặt đất sẽ bị lực hấp dẫn làm cho chuyển động

chậm lại và cuối cùng sẽ dừng lại và rơi xuống, trong khi đó hạt phôtôn vẫn phải tiếp tục bay lên với vận tốc không đổi. Vậy thì lực hấp dẫn của Newton có thể tác động đến ánh sáng như thế nào?). Phải mãi cho tới khi Enstein đưa ra thuyết tương đối rộng vào năm 1915, ta mới có một lý thuyết nhất quán cho biết hấp dẫn tác động như thế nào đến ánh sáng. Và thậm chí ngay cả khi đó cũng phải mất một thời gian sau người ta mới hiểu được những hệ quả của lý thuyết đối với các sao nặng.

Để hiểu một lỗ đen có thể được hình thành như thế nào, trước hết chúng ta phải hiểu vòng đời của một ngôi sao. Một ngôi sao được hình thành khi một lượng lớn khí (mà chủ yếu là hydro) bắt đầu co lại do lực hút hấp dẫn của chính mình. Và vì khi các khối khí co lại, nên các nguyên tử khí va chạm nhau thường xuyên hơn và ngày càng có vận tốc lớn hơn dẫn tới khối khí nóng lên. Cuối cùng, khối khí sẽ nóng tới mức khi các nguyên tử hydro va chạm nhau chúng sẽ không rời nhau ra nữa mà liên kết với nhau thành nguyên tử hêli. Nhiệt giải phóng ra từ phản ứng này – giống như vụ nổ bom khinh khí – sẽ làm cho ngôi sao phát sáng. Lượng nhiệt đó cũng làm tăng áp suất của khối khí cho tới khi đủ để cân bằng với lực hút hấp dẫn và khối khí ngừng co lại. Điều này cũng hơi giống với trường hợp quả khinh khí cầu, trong đó có sự cân bằng giữa áp suất của không khí bên trong có xu hướng làm cho quả khí cầu phồng ra và sức căng của vỏ cao su có xu hướng làm cho nó co lại. Những ngôi sao sẽ còn ổn định như thế một thời gian dài với nhiệt từ các phản ứng hạt nhân tỏa ra cân bằng với lực hút hấp dẫn. Tuy nhiên, cuối cùng rồi các ngôi sao cũng sẽ dùng hết số khí hydro và các nhiên liệu

hạt nhân của nó. Một điều thật nghịch lý là các ngôi sao càng có nhiều nhiên liệu lúc bắt đầu thì sẽ hết càng sớm. Đó là bởi vì ngôi sao càng nặng thì nó phải càng nóng để cân bằng với lực hút hấp dẫn. Mà nó đã càng nóng thì sẽ dùng hết số nhiên liệu của nó càng nhanh. Mặt trời của chúng ta có lẽ còn đủ nhiên liệu cho khoảng gần năm tỷ năm nữa, nhưng những ngôi sao nặng hơn có thể dùng hết nhiên liệu của chúng chỉ trong khoảng một trăm triệu năm, ít hơn tuổi của vũ trụ rất nhiều. Khi một ngôi sao hết nhiên liệu, nó sẽ lạnh đi và co lại. Chỉ vào cuối những năm 20, người ta mới hiểu được điều gì xảy ra đối với nó khi đó.

Năm 1928 một sinh viên Ấn Độ vừa mới tốt nghiệp đại học tên là Subrahmanyan Chandrasekhar đã dong thuyền tới nước Anh để theo học nhà thiên văn Ngài Arthur Eddington, một chuyên gia về thuyết tương đối rộng ở Cambridge. (Theo một số tin đồn, thì có một nhà báo vào đầu những năm 20 có nói với Eddington rằng ông ta nghe nói cả thế giới chỉ có ba người hiểu được thuyết tương đối rộng, Eddington im lặng một lát, rồi nói: "Tôi còn đang cố nghĩ xem người thứ ba là ai"). Trong suốt chuyến chu du của mình từ Ấn Độ, Chandrasekhar đã giải quyết được vấn đề: một ngôi sao có thể lớn tới mức nào để khi đã sử dụng hết nhiên liệu vẫn chống chọi được với lực hấp dẫn riêng của nó. Ý tưởng của ông như sau: khi một ngôi sao trở nên nhỏ, các hạt vật chất sẽ ở rất gần nhau và vì vậy theo nguyên lý loại trừ Pauli chúng cần phải có vận tốc khác nhau. Điều này làm cho chúng chuyển động ra xa nhau và vì thế có xu hướng làm cho ngôi sao giãn nở ra. Do đó một ngôi sao có thể tự duy trì để có một bán kính không đổi bằng cách giữ cân bằng giữa lực hút hấp

dẫn và lực đẩy xuất hiện do nguyên lý loại trừ, hệt như ở giai đoạn đầu trong cuộc đời của nó, lực hấp dẫn được cân bằng bởi nhiệt.

Tuy nhiên, Chandrasekhar thấy rằng lực đẩy do nguyên lý loại trừ tạo ra có một giới hạn. Lý thuyết tương đối đặt một giới hạn cho sự khác biệt cực đại về vận tốc của các hạt vật chất trong các ngôi sao – đó là vận tốc của ánh sáng. Điều này có nghĩa là khi một ngôi sao đủ đặc, lực đẩy gây bởi nguyên lý loại trừ sẽ nhỏ hơn lực hút hấp dẫn. Chandrasekhar tính ra rằng một ngôi sao lạnh có khối lượng lớn hơn khối lượng Mặt trời chừng 1,5 lần sẽ không thể tự chống chọi nổi với lực hấp dẫn riêng của nó. (Khối lượng này hiện nay được gọi là giới hạn Chandrasekhar). Phát minh tương tự cũng được nhà khoa học người Nga Lev Davidovich Landau đưa ra vào cùng thời gian đó.

Điều này có những hệ quả quan trọng đối với số phận tối hậu của các ngôi sao nặng. Nếu khối lượng của một ngôi sao nhỏ hơn giới hạn Chandrasekhar, thì cuối cùng nó cũng có thể ngừng co lại và yên phận ở trạng thái cuối cùng khả dĩ như "một sao lùn trắng" với bán kính chỉ khoảng vài ngàn dặm và mật độ khoảng vài trăm tấn trong một insơ khối. Sao lùn trắng chống đỡ được với lực hút hấp dẫn là bởi lực đẩy do nguyên lý loại trừ sinh ra giữa các êlectron trong vật chất của nó. Chúng ta đã quan sát được một số khá lớn những sao lùn trắng này. Một trong những sao lùn đầu tiên quan sát được là ngôi sao quay xung quanh sao Thiên Lang (Sirius) – ngôi sao sáng nhất trên bầu trời đêm.

Landau chỉ ra rằng còn có một trạng thái cuối cùng khả dĩ nữa cho các ngôi sao có khối lượng giới hạn cỡ một đến

hai lần lớn hơn khối lượng Mặt trời nhưng có kích thước còn nhỏ hơn cả các sao lùn trắng nhiều. Các sao này chống chọi được với lực hút hấp dẫn bởi lực đẩy do nguyên lý loại trừ tạo ra giữa các nơtrôn và prôtôn hơn là giữa các êlectron. Do đó chúng được gọi là các sao nơtrôn. Chúng có bán kính chỉ cỡ mươi dặm và có mật độ cỡ vài trăm triệu tấn trên một insơ khối. Khi sao nơtrôn lần đầu tiên được tiên đoán, người ta không có cách nào quan sát được chúng và thực tế mãi rất lâu về sau người ta cũng không phát hiện được.

Trái lại, những ngôi sao có khối lượng lớn hơn giới hạn Chandrasenkhar lại có vấn đề rất lớn đặt ra khi chúng đã dùng hết nhiên liệu. Trong một số trường hợp, chúng có thể nổ hoặc điều chỉnh để rút bớt đi một lượng vật chất đủ để làm giảm khối lượng của nó xuống dưới giới hạn và như vậy sẽ tránh được tai họa co lại do hấp dẫn. Tuy nhiên, thật khó lòng tin được rằng điều này luôn luôn xảy ra bất kể ngôi sao lớn tới mức nào. Vả lại làm sao biết được nó cần phải giảm trọng lượng? Và cho dù mọi ngôi sao đều biết điều chỉnh giảm khối lượng đủ để tránh được quá trình co lại thì điều gì sẽ xảy ra nếu ta thêm khối lượng cho một sao lùn trắng hoặc sao nơtrôn để khối lượng của nó lớn hơn khối lượng giới hạn? Liệu nó có co lại tới mật độ vô hạn không? Eddington đã bị "sốc" bởi hệ quả đó và ông đã chối bỏ không tin kết quả của Chandrasekhar. Eddington nghĩ rằng đơn giản là không thể có một ngôi sao co lại thành một điểm được. Đó cũng là quan điểm của đa số các nhà khoa học lúc bấy giờ. Chính Einstein cũng viết một số bài báo trong đó ông tuyên bố rằng một ngôi sao không thể co lại tới kích thước bằng không được! Trước sự chống đối của các nhà khoa học khác, mà đặc biệt là

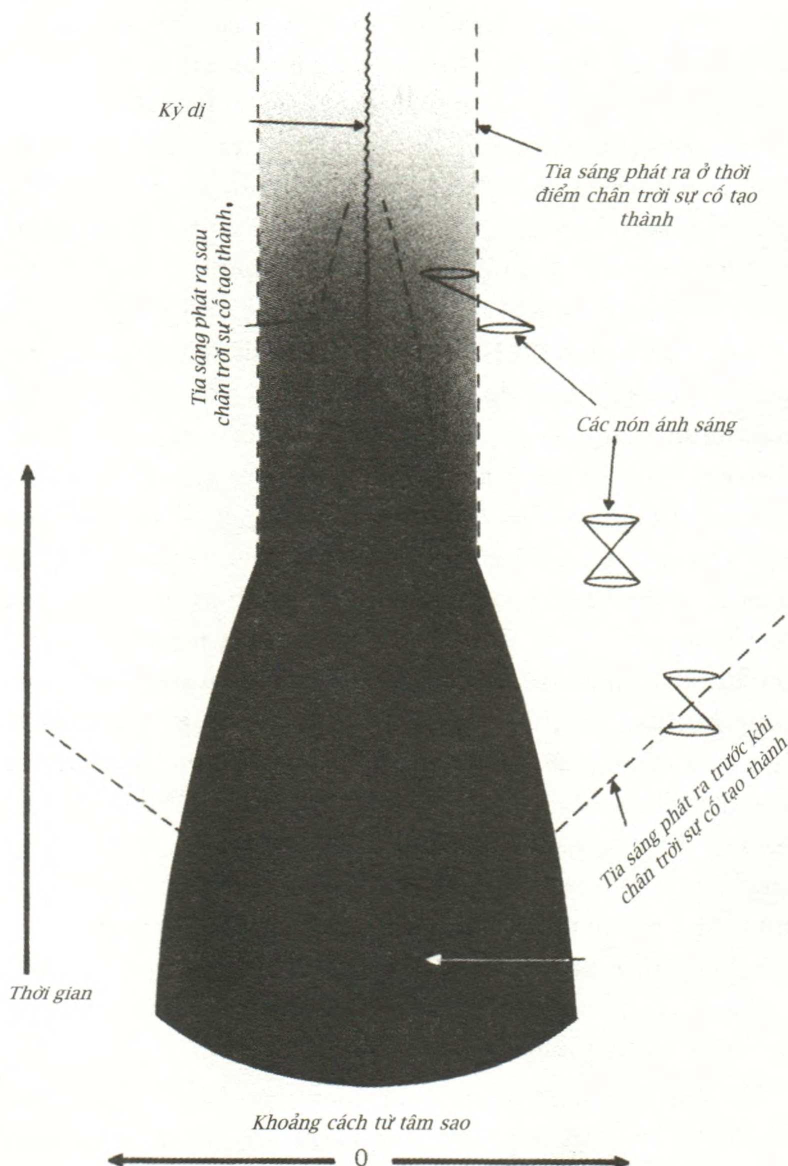
Eddington – vừa là thầy cũ vừa là người có uy tín hàng đầu về cấu trúc các sao, Chandrasekhar đành bỏ phương hướng nghiên cứu đó của mình và chuyển sang nghiên cứu những vấn đề khác trong thiên văn học như sự chuyển động của các đám sao. Tuy nhiên, khi ông được trao giải thưởng Nobel vào năm 1938 thì ít nhất cũng một phần là do công trình đầu tay của ông về khối lượng giới hạn của các sao lạnh.

Chandrasekhar đã chứng minh được rằng nguyên lý loại trừ không thể ngăn chặn được sự co lại của các sao có khối lượng lớn hơn giới hạn Chandrasekhar, nhưng vấn đề hiểu được điều gì sẽ xảy ra đối với những sao như vậy theo thuyết tương đối rộng, thì phải tới năm 1939 mới được nhà khoa học trẻ người Mỹ là Robert Oppenheimer giải quyết lần đầu tiên. Tuy nhiên, kết quả của ông cho thấy rằng không có một hệ quả quan sát nào có thể phát hiện được bằng các kính thiên văn thời đó. Rồi chiến tranh thế giới thứ hai xẩy ra và chính Oppenheimer lại cuốn hút vào dự án bom nguyên tử. Sau chiến tranh, vấn đề sự co lại do hấp dẫn bị lãng quên vì đa số các nhà khoa học bắt đầu lao vào các hiện tượng xảy ra trong quy mô nguyên tử và hạt nhân của nó. Tuy nhiên, vào những năm 60 sự quan tâm tới các vấn đề ở thang vĩ mô của thiên văn học và vũ trụ học lại sống dậy vì số lượng cũng như tầm quan sát thiên văn tăng lên rất lớn do việc áp dụng những công nghệ hiện đại. Công trình của Oppenheimer khi đó được phát hiện lại và được mở rộng thêm bởi nhiều người khác.

Bức tranh mà hiện nay chúng ta có từ công trình của Oppenheimer như sau: trường hấp dẫn của ngôi sao làm thay đổi đường truyền của các tia sáng trong không-thời gian so với đường truyền mà nó phải có khi ngôi sao không có mặt.

Các nón ánh sáng – chỉ đường truyền trong không-thời gian của các chớp sáng được phát ra từ đỉnh của nón – sẽ hơi bị uốn vào phía trong, phía gần với bề mặt của sao. Điều này có thể thấy được theo quỹ đạo cong của tia sáng phát từ những ngôi sao xa trong quá trình nhật thực. Vì ngôi sao nặng đang co lại, nên trường hấp dẫn ở bề mặt của nó ngày càng mạnh và nón ánh sáng càng bị uốn cong vào phía trong. Điều này làm cho tia sáng ngày càng khó thoát khỏi ngôi sao và ánh sáng sẽ ngày càng mờ đi và đỏ hơn đối với người quan sát từ xa. Cuối cùng, khi ngôi sao đã co tới một bán kính tới hạn nào đó, trường hấp dẫn ở bề mặt của nó trở nên mạnh tới mức nón ánh sáng bị uốn vào phía trong nhiều đến nỗi ánh sáng không thể thoát ra được nữa (H.6.1). Theo thuyết tương đối thì không có gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Vì vậy nếu ánh sáng không thể thoát ra được thì cũng không có gì có thể thoát được ra; tất cả đều bị trường hấp dẫn kéo lại. Do đó ta có một tập các sự cố, tức là một vùng trong không-thời gian, mà không có gì có thể thoát ra từ đó để đến được với người quan sát từ xa. Vùng này chính là cái mà người ta gọi là lỗ đen. Biên của vùng này được gọi là chân trời sự cố và nó trùng với đường truyền của các tia sáng vừa chớm không thoát ra được khỏi lỗ đen.

Để hiểu được điều mà bạn sẽ thấy nếu bạn đang quan sát sự co lại của một ngôi sao để tạo thành lỗ đen thì cần nhớ rằng trong thuyết tương đối không có khái niệm thời gian tuyệt đối. Mỗi một người quan sát có độ đo thời gian riêng của mình. Thời gian đối với người ở trên một ngôi sao sẽ khác với thời gian của người ở xa, do có trường hấp dẫn của ngôi sao đó. Giả sử có một nhà du hành vũ trụ quả cảm ở ngay


Kỳ dị
Tia sáng phát ra ở thời điểm chân trời sự cố tạo thành
Tia sáng phát ra sau chân trời sự cố tạo thành
Các nón ánh sáng
Tia sáng phát ra trước khi chân trời sự cố tạo thành
Thời gian
Khoảng cách từ tâm sao
0

Hình 6.1

trên bề mặt ngôi sao đang co lại và cùng co vào phía trong với nó, cứ mỗi một giây theo đồng hồ của anh ta lại gửi về con tàu đang quay quanh ngôi sao đó một tín hiệu. Ở một thời điểm nào đó theo đồng hồ của anh ta, ví dụ lúc 11 giờ, ngôi sao co lại dưới bán kính tới hạn – kích thước mà ở đó trường hấp dẫn bắt đầu mạnh tới mức không gì có thể thoát được ra, – và như vậy các tín hiệu của nhà du hành không còn tới được con tàu nữa. Khi tới gần 11 giờ, các đồng nghiệp của nhà du hành quan sát từ con tàu thấy khoảng thời gian giữa hai tín hiệu liên tiếp do nhà du hành gửi về ngày càng dài hơn, nhưng trước 10 giờ 59 phút 59 giây hiệu ứng đó còn rất nhỏ. Họ chỉ phải đợi hơn một giây chút xíu giữa tín hiệu mà nhà du hành gửi về lúc 10 giờ 59 phút 58 giây và tín hiệu anh ta gửi về lúc đồng hồ của anh ta chỉ 10 giờ 59 phút 59 giây, nhưng họ sẽ phải đợi vĩnh viễn tín hiệu anh ta gửi lúc 11 giờ. Các sóng ánh sáng được phát từ bề mặt ngôi sao trong khoảng thời gian giữa 10 giờ 59 phút 59 giây và 11 giờ theo đồng hồ của nhà du hành sẽ được truyền qua một khoảng thời gian vô hạn nếu đo từ con tàu. Khoảng thời gian giữa hai sóng ánh sáng liên tiếp tới con tàu mỗi lúc một dài hơn, do đó ánh sáng từ ngôi sao mỗi lúc một đỏ và nhợt nhạt hơn. Cuối cùng ngôi sao sẽ mờ tối tới mức từ con tàu không thể nhìn thấy nó nữa; tất cả những cái còn lại chỉ là một lỗ đen trong không gian. Tuy nhiên, ngôi sao vẫn tiếp tục tác dụng một lực hấp dẫn như trước lên con tàu làm cho nó vẫn tiếp tục quay xung quanh lỗ đen.

Thực ra, kịch bản này không phải hoàn toàn là hiện thực vì vấn đề sau. Lực hấp dẫn càng yếu khi bạn càng ở xa ngôi sao, vì vậy lực hấp dẫn tác dụng lên chân nhà du hành vũ

trụ quả cảm của chúng ta sẽ luôn luôn lớn hơn lực tác dụng lên đầu của anh ta. Sự khác biệt về lực đó sẽ kéo dài nhà du hành vũ trụ của chúng ta giống như một sợi mì hoặc xé đứt anh ta ra trước khi ngôi sao co tới bán kính tới hạn, tại đó chân trời sự cố được hình thành! Tuy nhiên, chúng ta tin rằng trong vũ trụ có những vật thể lớn hơn rất nhiều, chẳng hạn như những vùng trung tâm của các thiên hà, cũng có thể co lại do hấp dẫn để tạo thành các lỗ đen; một nhà du hành vũ trụ ở trên một trong các vật thể đó sẽ không bị xé đứt trước khi lỗ đen được tạo thành. Thực tế, anh ta sẽ chẳng cảm thấy gì đặc biệt khi đạt tới bán kính tới hạn và có thể vượt điểm không đường quay lui mà không nhận thấy. Tuy nhiên, chỉ một ít giờ sau, khi vùng đó tiếp tục co lại, sự khác biệt về lực hấp dẫn tác dụng lên chân và đầu sẽ trở nên mạnh tới mức xé đứt người anh ta.

Công trình mà Roger Penrose và tôi tiến hành giữa những năm 1965 và 1970 chứng tỏ rằng theo thuyết tương đối rộng thì cần phải có một kỳ dị với mật độ và độ cong không-thời gian là vô hạn bên trong lỗ đen. Điều này khá giống với Vụ nổ lớn ở thời điểm bắt đầu, chỉ có điều ở đây lại là thời điểm cuối của một vật thể cùng nhà du hành đang co lại. Ở điểm kỳ dị này, các định luật khoa học và khả năng tiên đoán tương lai đều không dùng được nữa. Tuy nhiên, một người quan sát còn ở ngoài lỗ đen sẽ không bị ảnh hưởng bởi sự mất khả năng tiên đoán đó vì không một tín hiệu nào hoặc tia sáng nào từ điểm kỳ dị đó tới được anh ta. Sự kiện đáng chú ý đó đã dẫn Roger Penrose đi tới giả thuyết về sự kiểm duyệt vũ trụ – một giả thuyết có thể được phát biểu dưới dạng: "Chúa căm ghét sự kỳ dị trần trụi". Nói một cách khác,

những kỳ dị được tạo ra bởi sự co lại do hấp dẫn chỉ xảy ra ở những nơi giống như lỗ đen – nơi mà chúng được che dấu kín đáo bởi chân trời sự cố không cho chúng được nhìn thấy. Nói một cách chặt chẽ thì đây mới là giả thuyết kiểm duyệt vũ trụ yếu: nó bảo vệ cho những người quan sát còn ở ngoài lỗ đen tránh được những hậu quả do sự mất khả năng tiên đoán xảy ra ở điểm kỳ dị, nhưng nó hoàn toàn không làm được gì cho nhà du hành bất hạnh đã bị rơi vào lỗ đen.

Có một số nghiệm của các phương trình của thuyết tương đối rộng trong đó cho phép nhà du hành của chúng ta có thể nhìn thấy điểm kỳ dị trần trụi: như vậy anh ta có thể tránh không đụng vào nó và thay vì anh ta có thể rơi qua một cái "lỗ sâu đục" và đi ra một vùng khác của vũ trụ. Điều này tạo ra những khả năng to lớn cho việc du hành trong không gian và thời gian, nhưng thật không may, những nghiệm đó lại rất không ổn định; chỉ cần một nhiễu động nhỏ, ví dụ như sự có mặt của nhà du hành, là đã có thể làm cho chúng thay đổi tới mức nhà du hành không còn nhìn thấy kỳ dị nữa cho tới khi chạm vào nó và thời gian của anh ta sẽ chấm hết. Nói cách khác, kỳ dị luôn luôn nằm ở tương lai chứ không bao giờ nằm ở quá khứ của anh ta. Giả thuyết kiểm duyệt vũ trụ mạnh phát biểu rằng trong nghiệm hiện thực thì các kỳ dị luôn luôn hoặc hoàn toàn nằm trong tương lai (như các kỳ dị của quá trình co lại do hấp dẫn) hoặc hoàn toàn nằm trong quá khứ (như Vụ nổ lớn). Tôi đã rất tin vào giả thuyết kiểm duyệt vũ trụ, đến mức tôi đã đánh cuộc với Kip Thorne và John Presskill thuộc Cal Tech (viết tắt của Học viện Công nghệ California - ND) rằng giả thuyết đó nhất định sẽ đúng. Tôi đã thua cuộc về mặt kỹ thuật vì các ví dụ tạo ra từ các

nghiệm có kỳ dị có thể nhìn thấy được từ xa. Vì vậy, tôi đã phải thanh toán theo điều khoản đánh cược, nghĩa là tôi cần phải che đậy cho sự trần trụi của chúng. Nhưng tôi có thể tuyên bố rằng tôi đã thắng về mặt tinh thần. Các kỳ dị trần trụi là không bền: chỉ cần một nhiễu động rất nhỏ là có thể làm cho chúng biến mất hoặc ẩn giấu sau chân trời sự cố.

Chân trời sự cố, biên của vùng không-thời gian mà từ đó không gì thoát ra được, có tác dụng như một màng bao quanh lỗ đen chỉ cho phép đi qua theo một chiều: các vật, tỷ như nhà du hành khinh suất của chúng ta, có thể rơi vào lỗ đen qua chân trời sự cố, nhưng không gì có thể thoát ra từ lỗ đen qua chân trời sự cố đó (cần nhớ rằng chân trời sự cố là đường đi trong không-thời gian của ánh sáng đang tìm cách thoát khỏi lỗ đen, và không gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng). Có thể dùng lời của thi sĩ Dante nói về lối vào địa ngục để nói về chân trời sự cố: "Hỡi những ai bước vào đây hãy vứt bỏ mọi hy vọng!". Bất kỳ cái gì hoặc bất kỳ ai một khi đã rơi qua chân trời sự cố thì sẽ sớm tới vùng có mật độ vô hạn và chấm hết thời gian.

Thuyết tương đối rộng tiên đoán rằng các vật có khối lượng khi chuyển động sẽ phát ra sóng hấp dẫn – những nếp gợn trong độ cong của không gian truyền với vận tốc của ánh sáng. Những sóng này tương tự như các sóng ánh sáng là những gợn sóng của trường điện từ, nhưng sóng hấp dẫn khó phát hiện hơn nhiều. Chúng có thể được quan sát thông qua sự thay đổi, dù là rất nhỏ, của khoảng cách giữa các vật chuyển động tự do ở gần nhau mà chúng gây ra. Nhiều detector đang được xây dựng ở Mỹ, châu Âu và Nhật Bản có thể đo được những dịch chuyển chỉ cỡ 1 phần ngàn triệu

triệu (với một 1 và hai mươi mốt số 0 tiếp theo) hoặc nhỏ hơn một hạt nhân nguyên tử so với khoảng cách 10 dặm.

Giống như ánh sáng, sóng hấp dẫn cũng mang năng lượng lấy từ các vật phát ra nó. Do đó hệ thống các vật có khối lượng cuối cùng sẽ an bài ở một trạng thái dừng nào đó bởi vì năng lượng ở bất cứ dạng vận động nào đều được các sóng hấp dẫn mang đi. (Điều này gần tương tự với việc ném một cái nút li-e xuống nước; ban đầu nó dập dềnh khá mạnh, nhưng rồi vì các gợn sóng mang dần đi hết năng lượng của nó, cuối cùng nó an bài ở một trạng thái dừng). Ví dụ, chuyển động của Trái đất quay xung quanh Mặt trời tạo ra các sóng hấp dẫn. Tác dụng của việc mất năng lượng sẽ làm thay đổi quỹ đạo Trái đất, làm cho nó dần dần tiến tới gần Mặt trời hơn, rồi cuối cùng chạm Mặt trời và an bài ở một trạng thái dừng. Tốc độ mất năng lượng của Trái đất và Mặt trời rất thấp, chỉ cỡ đủ để chạy một lò sưởi điện nhỏ. Điều này có nghĩa là phải mất gần một ngàn triệu triệu triệu triệu năm Trái đất mới đâm vào Mặt trời và vì vậy chúng ta chẳng có lý do gì để lo lắng cả! Sự thay đổi quỹ đạo của Trái đất cũng rất chậm khiến cho khó có thể quan sát được, nhưng chính hiện tượng này đã được quan sát thấy ít năm trước trong hệ sao có tên là PSR 1913+16 (*PSR* là chữ viết tắt của pulsar – một loại sao nơtrôn đặc biệt có khả năng phát đều đặn các xung sóng radio). Hệ sao này gồm hai sao nơtrôn quay xung quanh nhau và sự mất năng lượng do phát sóng hấp dẫn làm cho chúng chuyển động theo đường xoắn ốc hướng vào nhau. Khẳng định này của thuyết tương đối rộng đã mang lại cho J.H. Taylor và R.A. Hulse giải Nobel năm 1993. Sẽ phải mất khoảng 300 triệu năm chúng mới va chạm với nhau. Còn

trước đó, chúng quay nhanh tới mức, chúng sẽ phát ra các sóng hấp dẫn đủ để cho các detector như LIGO có thể phát hiện được.

Trong quá trình co lại do hấp dẫn của một ngôi sao để tạo thành một lỗ đen, các chuyển động sẽ nhanh hơn nhiều và vì vậy tốc độ năng lượng được chuyển đi cũng cao hơn nhiều. Do vậy mà thời gian để đạt tới sự an bài ở một trạng thái dừng sẽ không quá lâu. Vậy cái giai đoạn cuối cùng này nhìn sẽ như thế nào? Người ta cho rằng nó sẽ phụ thuộc vào tất cả các đặc tính của ngôi sao, không chỉ phụ thuộc vào khối lượng và tốc độ quay mà còn phụ thuộc vào những mật độ khác nhau của các phần tử khác nhau của ngôi sao và cả những chuyển động phức tạp của các khí trong các ngôi sao đó nữa. Và nếu các lỗ đen cũng đa dạng như những đối tượng đã co lại và tạo nên chúng thì sẽ rất khó đưa ra một tiên đoán nào về các lỗ đen nói chung.

Tuy nhiên, vào năm 1967, một nhà khoa học Canađa tên là Werner Israel (ông sinh ở Berlin, lớn lên ở Nam Phi, và làm luận án tiến sĩ ở Aixơlen) đã tạo ra một bước ngoặt trong việc nghiên cứu các lỗ đen. Israel chỉ ra rằng theo thuyết tương đối rộng thì các lỗ đen không quay là rất đơn giản; chúng có dạng cầu lý tưởng và có kích thước chỉ phụ thuộc vào khối lượng của chúng; hai lỗ đen như thế có khối lượng như nhau là hoàn toàn đồng nhất với nhau.

Thực tế, những lỗ đen này có thể được mô tả bằng một nghiệm riêng của phương trình Einstein đã được biết từ năm 1917, do Karl Schwarzchild tìm ra gần như ngay sau khi phát minh ra thuyết tương đối rộng. Thoạt đầu, nhiều người, thậm chí ngay cả Israel, lý luận rằng vì các lỗ đen cần phải có dạng

cầu lý tưởng nên chúng chỉ có thể được tạo thành từ sự co lại của những đối tượng có dạng cầu lý tưởng. Mà một ngôi sao thực chẳng bao giờ có dạng cầu lý tưởng được, nên nó chỉ có thể co lại để tạo thành một kỳ dị trần trụi mà thôi.

Tuy nhiên, có một cách giải thích khác cho kết quả của Israel mà Roger Penrose và đặc biệt là John Wheeler rất ủng hộ. Họ lý luận rằng những chuyển động nhanh trong quá trình co lại có nghĩa là các sóng hấp dẫn do nó phát ra sẽ làm cho nó có dạng cầu hơn và vào thời điểm an bài ở trạng thái dừng nó có dạng chính xác là cầu. Theo quan điểm này thì một ngôi sao không quay, bất kể hình dạng và cấu trúc bên trong của nó phức tạp như thế nào, sau khi kết thúc quá trình co lại do hấp dẫn đều trở thành lỗ đen có dạng cầu lý tưởng với kích thước chỉ phụ thuộc vào khối lượng của nó. Những tính toán sau này đều củng cố cho quan điểm này và chẳng bao lâu sau nó đã được mọi người chấp nhận.

Kết quả của Israel chỉ đề cập tới trường hợp các lỗ đen được tạo thành từ các vật thể không quay. Năm 1963 Roy Kerr người New Zealand đã tìm ra một tập hợp nghiệm của các phương trình của thuyết tương đối rộng mô tả các lỗ đen quay. Các lỗ đen "Kerr" đó quay với vận tốc không đổi, có kích thước và hình dáng chỉ phụ thuộc vào khối lượng và tốc độ quay của chúng. Nếu tốc độ quay bằng không, lỗ đen sẽ có dạng cầu lý tưởng và nghiệm này sẽ trùng với nghiệm Schwarzchild. Nếu tốc độ quay khác không, lỗ đen sẽ phình ra phía ngoài ở gần xích đạo của nó (cũng như Trái đất và Mặt trời đều phình ra như thế do sự quay của chúng) và nếu nó quay càng nhanh thì sự phình ra sẽ càng mạnh. Như vậy, khi mở rộng kết quả của Israel để bao hàm được cả các vật thể

quay, người ta đã suy đoán rằng một vật thể quay co lại để tạo thành một lỗ đen, cuối cùng, sẽ an bài ở trạng thái dừng được mô tả bởi nghiệm Kerr.

Năm 1970, một đồng nghiệp và cũng là nghiên cứu sinh của tôi là Brandon Carter đã đi được bước đầu tiên hướng tới chứng minh suy đoán trên. Anh đã chứng tỏ được rằng với điều kiện lỗ đen quay dừng có một trục đối xứng, giống như một con quay, thì nó sẽ có kích thước và hình dạng chỉ phụ thuộc vào khối lượng và tốc độ quay của nó. Sau đó vào năm 1971, tôi đã chứng minh được rằng bất kỳ một lỗ đen quay dừng nào đều cần phải có một trục đối xứng như vậy. Cuối cùng, vào năm 1973, David Robinson ở trường Kings College, London đã dùng kết quả của Carter và tôi chứng minh được rằng ước đoán nói ở trên là đúng: những lỗ đen như vậy thực sự là nghiệm Kerr. Như vậy, sau khi co lại do hấp dẫn, lỗ đen sẽ an bài trong trạng thái có thể quay nhưng không xung động. Hơn nữa, kích thước và hình dạng của nó chỉ phụ thuộc vào khối lượng và tốc độ quay chứ không phụ thuộc vào bản chất của vật thể bị co lại tạo nên nó. Kết quả này được biết tới dưới dạng câu châm ngôn: "lỗ đen không có tóc". Định lý "không có tóc" này có một tầm quan trọng thực tiễn to lớn bởi nó hạn chế rất nhiều các loại lỗ đen khả dĩ. Do vậy, người ta có thể tạo ra những mô hình chi tiết của các vật có khả năng chứa lỗ đen và so sánh những tiên đoán của mô hình với quan sát. Điều này cũng có nghĩa là một lượng rất lớn thông tin về vật thể co lại sẽ phải mất đi khi lỗ đen được tạo thành, bởi vì sau đấy tất cả những thứ mà ta có thể đo được về vật thể đó chỉ là khối lượng và tốc độ quay của nó. Ý nghĩa của điều này sẽ được thấy rõ ở chương sau.

Các lỗ đen chỉ là một trong số rất ít các trường hợp trong lịch sử khoa học, trong đó lý thuyết đã được phát triển rất chi tiết như một mô hình toán học trước khi có những bằng chứng từ quan sát xác nhận nó là đúng đắn. Thực tế, điều này đã được dùng như một luận cứ chủ yếu của những người phản đối lỗ đen: làm sao người ta có thể tin rằng có những vật thể mà bằng chứng về sự tồn tại của nó chỉ là những tính toán dựa trên lý thuyết tương đối rộng, một lý thuyết vốn đã đáng ngờ? Tuy nhiên, vào năm 1963, Maarten Schmidt, một nhà thiên văn làm việc ở Đài thiên văn Palomar, California đã đo được sự chuyển dịch về phía đỏ của một đối tượng sáng mờ tựa như sao theo hướng một nguồn phát sóng radio có tên là 3C273 (tức là số của nguồn là 273 trong catalô thứ 3 ở Cambridge). Ông thấy sự dịch chuyển này là quá lớn nếu xem nó do trường hấp dẫn gây ra: nếu đó là sự chuyển dịch về phía đỏ do trường hấp dẫn gây ra thì đối tượng đó phải rất nặng và ở gần chúng ta tới mức nó sẽ làm nhiễu động quỹ đạo của các hành tinh trong hệ Mặt trời. Điều này gợi ý rằng sự dịch chuyển về phía đỏ này là do sự giãn nở của vũ trụ và vì vậy đối tượng đó phải ở rất xa chúng ta. Để thấy được ở một khoảng cách xa như thế, vật thể đó phải rất sáng hay nói cách khác là phải phát ra một lượng năng lượng cực lớn. Cơ chế duy nhất mà con người có thể nghĩ ra để sản ra một năng lượng lớn như thế là sự co lại do hấp dẫn không phải chỉ của một ngôi sao mà của cả vùng trung tâm của một thiên hà. Nhiều đối tượng "tựa-sao" tương tự khác, hay nói cách khác là các quasar, cũng đã được phát hiện, tất cả đều có dịch chuyển lớn về phía đỏ. Nhưng tất cả chúng đều ở quá xa khó quan sát để cho một bằng chứng quyết định về các lỗ đen.

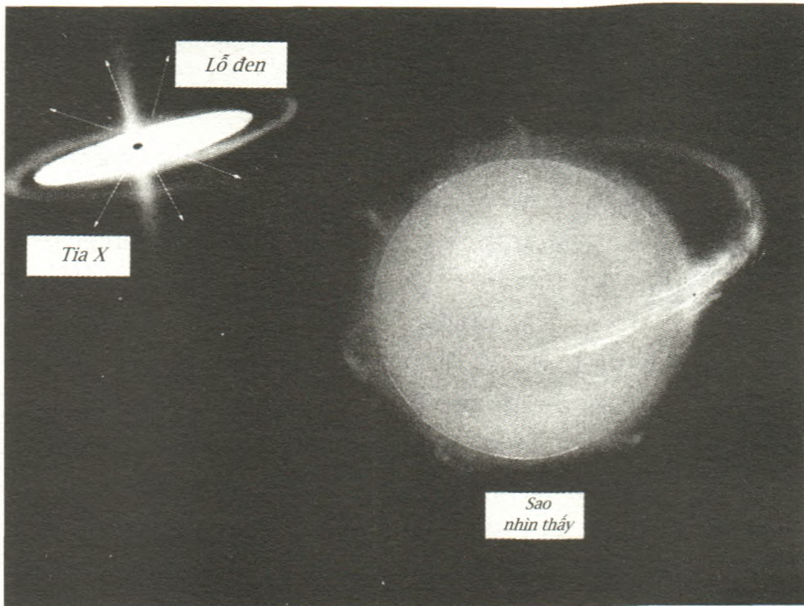
Sự cổ vũ tiếp theo cho sự tồn tại của các lỗ đen là phát minh của Jocelyn Bell, một nghiên cứu sinh ở Cambridge, về những thiên thể phát các xung radio đều đặn vào năm 1967. Thoạt đầu, Bell và người hướng dẫn của chị là Antony Hewish, nghĩ rằng có lẽ họ đã liên lạc được với một nên văn minh lạ trong thiên hà! Thực tế, trong buổi seminar khi họ thông báo phát minh của họ, tôi nhớ là họ đã gọi bốn nguồn phát sóng rađio đầu tiên đó là LGM 1-4 với *LGM* là viết tắt của *Little Green Men* (Những người xanh nhỏ). Tuy nhiên, cuối cùng họ và mọi người đều đi đến một kết luận ít lãng mạn hơn cho rằng những đối tượng đó – có tên là *pulsar* – thực tế là những sao nơtrôn quay có khả năng phát các xung sóng radio do sự tương tác phức tạp giữa từ trường của nó với vật chất xung quanh. Đây là một tin không mấy vui vẻ đối với các nhà văn chuyên viết về các chuyện phiêu lưu trong vũ trụ nhưng lại đầy hy vọng đối với một số ít người tin vào sự tồn tại của lỗ đen thời đó: đây là bằng chứng xác thực đầu tiên về sự tồn tại của các sao nơtrôn. Sao nơtrôn có bán kính chừng mười dặm chỉ lớn hơn bán kính tới hạn để một sao trở thành một lỗ đen ít lần. Nếu một sao có thể co lại tới một kích thước nhỏ như vậy thì cũng không có lý do gì mà những ngôi sao khác không thể co lại tới một kích thước còn nhỏ hơn nữa để trở thành lỗ đen.

Làm sao chúng ta có thể hy vọng phát hiện được lỗ đen khi mà theo chính định nghĩa của nó, nó không phát ra một tia sáng nào? Điều này cũng na ná như tìm con mèo đen trong một kho than. May thay vẫn có một cách. Như John Michell đã chỉ ra trong bài báo tiên phong của ông viết năm 1783, lỗ đen vẫn tiếp tục tác dụng lực hấp dẫn lên các vật



Hình 6.2. Đối tượng sáng hơn trong hai ngôi sao ở gần tâm bức ảnh là hệ thống Cygnus X-1 mà người ta nghĩ rằng nó bao gồm một lỗ đen và một ngôi sao bình thường quay quanh nhau.

xung quanh. Các nhà thiên văn đã quan sát được nhiều hệ thống, trong đó có hai sao quay xung quanh nhau và hút nhau bằng lực hấp dẫn. Họ cũng quan sát được những hệ thống trong đó chỉ có một sao thấy được quay xung quanh sao đồng hành không thấy được. Tất nhiên, người ta không thể kết luận ngay rằng sao đồng hành đó là một lỗ đen, vì nó có thể đơn giản chỉ là một ngôi sao phát sáng quá yếu nên ta không thấy được. Tuy nhiên, có một số trong các hệ thống đó, chẳng hạn như hệ thống có tên là Cygnus X-1 (H.6.2), cũng là những nguồn phát tia X rất mạnh. Cách giải thích tốt nhất cho hiện tượng này là vật chất bị bắn ra khỏi bề mặt của



Hình 6.3

ngôi sao nhìn thấy. Vì lượng vật chất này rơi về phía sao đồng hành không nhìn thấy, nên nó phát triển thành chuyển động theo đường xoắn ốc (khá giống như nước chảy ra khỏi bồn tắm) và trở nên rất nóng, phát ra các tia X (H.6.3). Muốn cho cơ chế này hoạt động, sao đồng hành không nhìn thấy phải rất nhỏ, giống như sao lùn trắng, sao nơtrôn hoặc lỗ đen. Từ quỹ đạo quan sát được của ngôi sao nhìn thấy, người ta có thể xác định được khối lượng khả dĩ thấp nhất của ngôi sao đồng hành không nhìn thấy. Trong trường hợp hệ thống Cygnus X-1, ngôi sao đó có khối lượng lớn gấp 6 lần Mặt trời. Theo kết quả của Chandrasekhar thì như thế là quá lớn để

cho ngôi sao không nhìn thấy là một sao lùn trắng. Nó cũng có khối lượng quá lớn để là sao nơtrôn.Vì vậy nó dường như phải là một lỗ đen...

Cũng có những mô hình khác giải thích rằng Cygnus X-1 không bao gồm lỗ đen, nhưng tất cả những mô hình đó đều rất gượng gạo. Lỗ đen là cách giải thích thực sự tự nhiên duy nhất những quan trắc đó. Mặc dù vậy tôi đã đánh cược với Kip Thorne ở Viện Công nghệ California rằng thực tế Cygnus X-1 không chứa lỗ đen! Đây chẳng qua chỉ là sách lược bảo hiểm cho tôi. Tôi đã tốn biết bao công sức cho những lỗ đen và tất cả sẽ trở nên vô ích nếu hóa ra là các lỗ đen không tồn tại. Nhưng khi đó tôi sẽ được an ủi là mình đã thắng cược và điều đó sẽ mang lại cho tôi bốn năm liền tạp chí *Private Eye*. Thực tế, mặc dù tình hình với Cygnus X-1 không thay đổi nhiều từ khi chúng tôi đánh cược với nhau vào năm 1975, nhưng hiện nay có nhiều bằng chứng quan sát khác nghiêng về phía có tồn tại lỗ đen nên tôi đã chấp nhận thua cuộc. Tôi đã trả tiền cược, là một năm đặt tạp chí Penthouse, với sự rất bực tức của người vợ đã ly hôn của Kip Thorne.

Giờ đây chúng ta cũng có bằng chứng về một vài lỗ đen khác thuộc các hệ thống giống như Cygnus X-1 trong thiên hà chúng ta và trong hai thiên hà lân cận có tên là Magellanic Clouds. Tuy nhiên, số các lỗ đen chắc còn cao hơn nhiều; trong lịch sử dài dằng dặc của vũ trụ, nhiều ngôi sao chắc đã đốt hết toàn bộ nhiên liệu hạt nhân của mình và đã phải co lại. Số các lỗ đen có thể lớn hơn nhiều so với số những ngôi sao nhìn thấy được, mà chỉ riêng trong thiên hà của chúng ta thôi số những ngôi sao đó đã tới khoảng một trăm tỷ. Lực hút hấp dẫn phụ thêm của một số lớn như thế các lỗ đen có thể giải

thích được tại sao thiên hà của chúng ta lại quay với tốc độ như nó hiện có: khối lượng của các sao thấy được không đủ để làm điều đó. Chúng ta cũng có một số bằng chứng cho thấy rằng có một lỗ đen lớn hơn nhiều nằm ở trung tâm thiên hà của chúng ta với khối lượng lớn hơn khối lượng của Mặt trời tới trăm ngàn lần. Các ngôi sao trong thiên hà tới gần lỗ đen đó sẽ bị xé tan do sự khác biệt về lực hấp dẫn ở phía gần và phía xa của nó. Tàn tích của những ngôi sao đó và khí do các sao khác tung ra đều sẽ rơi về phía lỗ đen này. Cũng như trong trường hợp Cygnus X-1, khí sẽ chuyển động theo đường xoắn ốc đi vào và nóng lên mặc dù không nhiều như trong trường hợp đó. Nó sẽ không đủ nóng để phát ra các tia X, nhưng chúng có thể là các nguồn sóng radio và tia hồng ngoại rất nhỏ gọn mà người ta đã quan sát được ở tâm thiên hà.

Người ta cho rằng những lỗ đen tương tự hoặc thậm chí còn lớn hơn nữa, với khối lượng khoảng trăm triệu lần lớn hơn khối lượng Mặt trời có thể gặp ở tâm các quasar. Ví dụ, các quan sát qua kính thiên văn không gian Hubble đối với thiên hà có tên là M87 đã phát hiện ra rằng nó thiếu một đĩa khí có đường kính cỡ 130 năm ánh sáng quay xung quanh một vật ở tâm có khối lượng lớn gấp 200 triệu lần Mặt trời. Đó chỉ có thể là một lỗ đen. Vật chất rơi vào những lỗ đen siêu nặng như vậy sẽ tạo ra một nguồn năng lượng duy nhất đủ lớn để giải thích lượng năng lượng cực lớn mà các vật thể đó phát ra.Vì vật chất chuyển động xoáy ốc vào lỗ đen, nó sẽ làm cho lỗ đen quay cùng chiều tạo cho nó một từ trường khá giống với từ trường của Trái đất. Các hạt có năng lượng rất cao cũng sẽ được sinh ra gần lỗ đen bởi vật chất rơi vào. Từ trường này có thể mạnh tới mức hội tụ được các hạt đó

thành những tia phóng ra ngoài dọc theo trục quay của lỗ đen, tức là theo hướng cực bắc và cực nam của nó. Các tia như vậy thực tế đã được quan sát thấy trong nhiều thiên hà và các quasar.

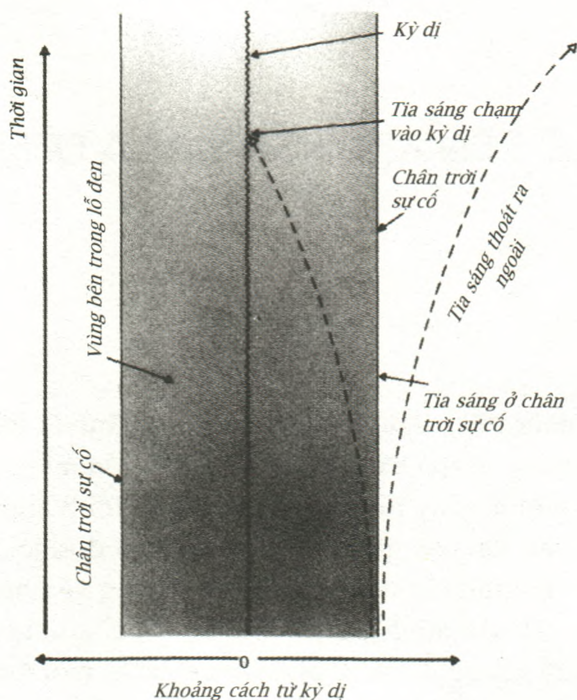
Người ta cũng có thể xét tới khả năng có những lỗ đen với khối lượng nhỏ hơn nhiều so với khối lượng Mặt trời. Những lỗ đen như thế không thể được tạo thành bởi sự co lại do hấp dẫn, vì khối lượng của chúng thấp hơn giới hạn Chandrasekhar: các sao có khối lượng thấp đó tự nó có thể chống chọi được với lực hấp dẫn ngay cả khi chúng đã hết sạch nhiên liệu hạt nhân. Do vậy, những lỗ đen khối lượng thấp đó chỉ có thể được tạo thành nếu vật chất của nó được nén đến mật độ cực lớn bởi một áp lực rất cao từ bên ngoài. Điều kiện như thế có thể xảy ra trong một quả bom khinh khí rất lớn: nhà vật lý John Wheeler một lần đã tính ra rằng nếu ta lấy toàn bộ nước nặng trong tất cả các đại dương thì ta có thể chế tạo được quả bom khinh khí có thể nén được vật chất ở tâm mạnh tới mức có thể tạo nên một lỗ đen. (Tất nhiên sẽ chẳng còn ai sống sót mà quan sát điều đó!). Một khả năng khác thực tiễn hơn là các lỗ đen có khối lượng thấp có thể được tạo thành dưới nhiệt độ và áp suất cao ở giai đoạn rất sớm của vũ trụ. Mặt khác những lỗ đen chỉ có thể tạo thành nếu vũ trụ ở giai đoạn rất sớm không trơn tru và đều đặn một cách lý tưởng, bởi vì chỉ cần một vùng nhỏ có mật độ lớn hơn mật độ trung bình là có thể bị nén theo cách đó để tạo thành lỗ đen. Nhưng chúng ta biết rằng nhất thiết phải có một số bất thường như vậy, bởi vì nếu không, vật chất trong vũ trụ cho tới nay vẫn sẽ còn phân bố đều một cách lý tưởng thay vì kết lại thành khối trong các ngôi sao và các thiên hà.

Những bất thường đòi hỏi phải có để tạo ra các ngôi sao và thiên hà có dẫn tới sự tạo thành một số đáng kể "lỗ đen nguyên thủy" hay không còn phụ thuộc vào chi tiết của những điều kiện ở giai đoạn đầu của vũ trụ. Vì vậy nếu hiện nay chúng ta có thể xác định được có bao nhiêu lỗ đen nguyên thủy thì chúng ta sẽ biết được nhiều điều về những giai đoạn rất sớm đó của vũ trụ. Các lỗ đen nguyên thủy với khối lượng lớn hơn hàng triệu tấn (bằng khối lượng của một quả núi lớn) có thể được phát hiện chỉ thông qua ảnh hưởng hấp dẫn của chúng lên các vật thể khác là vật chất thấy được hoặc ảnh hưởng tới sự giãn nở của vũ trụ. Tuy nhiên, như chúng ta sẽ biết ở chương sau, các lỗ đen xét cho đến cùng cũng không phải quá đen: chúng phát sáng như những vật nóng và các lỗ đen càng nhỏ thì chúng phát sáng càng mạnh. Và như vậy một điều thật nghịch lý là các lỗ đen càng nhỏ thì lại càng dễ phát hiện hơn các lỗ đen lớn.

7.

LỖ ĐEN KHÔNG QUÁ LÀ ĐEN

Trước năm 1970, nghiên cứu của tôi về thuyết tương đối rộng chủ yếu tập trung vào vấn đề có tồn tại hay không kỳ dị vụ nổ lớn. Tuy nhiên, vào một buổi tối tháng 11 năm đó, ngay sau khi con gái tôi, cháu Lucy, ra đời, tôi bắt đầu suy nghĩ về những lỗ đen khi tôi trên đường về phòng ngủ. Vì sự tàn tật của mình, tôi di chuyển rất chậm, nên có đủ thời gian để suy nghĩ. Vào thời đó còn chưa có một định nghĩa chính xác cho biết những điểm nào của không-thời gian là nằm trong và những điềm nào là nằm ngoài lỗ đen. Tôi đã thảo luận với Roger Penrose ý tưởng định nghĩa lỗ đen như một tập hợp các sự cố mà từ đó không thể thoát ra khỏi để đến những khoảng cách lớn và bây giờ nó đã trở thành một định nghĩa được mọi người chấp nhận. Điều này có nghĩa là biên giới của lỗ đen, cũng gọi là chân trời sự cố, được tạo bởi đường đi trong không-thời gian của các tia sáng vừa chớm không thoát ra được khỏi lỗ đen và vĩnh viễn chơi vơi ở mép của nó (H.7.1). Nó cũng gần giống như trò chơi chạy trốn cảnh sát, chỉ hơi vượt trước được một bước nhưng còn chưa thể bứt ra được.



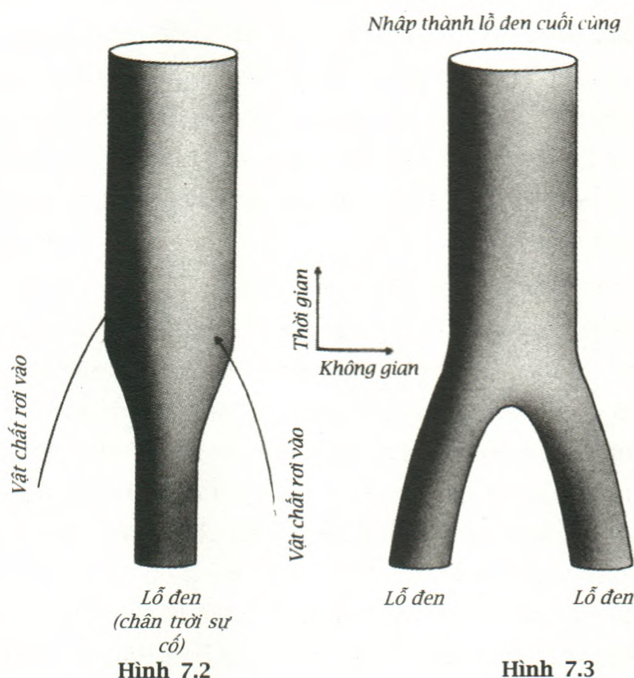
Hình 7.1

Bất chợt tôi nhận ra rằng đường đi của các tia sáng ấy không bao giờ có thể tiến tới gần nhau. Nếu không thế, cuối cùng chúng sẽ phải chập vào nhau. Điều này cũng giống như đón gặp một người còn đang phải chạy trốn cảnh sát ở phía ngược lại – rốt cuộc cả hai sẽ đều bị bắt! (Hay trong trường hợp của chúng ta cả hai tia sáng sẽ đều bị rơi vào lỗ đen). Nhưng nếu cả hai tia sáng đó đều bị nuốt bởi lỗ đen, thì chúng không thể ở biên giới của lỗ đen được. Như vậy, đường đi của các tia sáng trong chân trời sự cố phải luôn luôn song

song hoặc đi ra xa nhau. Một cách khác để thấy điều này là chân trời sự cố – biên giới của lỗ đen – giống như mép của một cái bóng – bóng của số phận treo lơ lửng. Nếu bạn nhìn cái bóng tạo bởi một nguồn sáng ở rất xa, chẳng hạn như Mặt trời, bạn sẽ thấy rằng các tia sáng ở mép của nó không hề tiến tới gần nhau.

Nếu các tia sáng tạo nên chân trời sự cố – biên giới của lỗ đen – không bao giờ có thể tiến tới gần nhau, thì diện tích của chân trời sự cố có thể giữ nguyên không đổi hoặc tăng theo thời gian chứ không bao giờ giảm, vì nếu không ít nhất sẽ có một số tia sáng trên biên phải tiến gần tới nhau. Thực tế thì diện tích sẽ tăng bất cứ khi nào có vật chất hoặc bức xạ rơi vào lỗ đen (H.7.2). Hoặc nếu có hai lỗ đen va chạm rồi sáp nhập với nhau tạo thành một lỗ đen duy nhất, thì diện tích chân trời sự cố của lỗ đen tạo thành sẽ lớn hơn hoặc bằng tổng diện tích chân trời sự cố của hai lỗ đen riêng lẻ ban đầu (H.7.3). Tính không giảm đó của diện tích chân trời sự cố đã đặt một hạn chế quan trọng đối với hành vi khả dĩ của các lỗ đen. Tôi đã xúc động về phát minh của mình tới mức đêm đó tôi không sao chợp mắt được. Ngày hôm sau tôi gọi điện cho Roger Penrose. Ông đã đồng ý với tôi. Thực tế, tôi nghĩ rằng chính ông cũng đã ý thức được tính chất đó của diện tích chân trời sự cố. Tuy nhiên, ông đã dùng một định nghĩa hơi khác của lỗ đen. Ông không thấy được rằng biên giới của các lỗ đen theo hai định nghĩa đó thực chất là như nhau và do đó diện tích của chúng cũng như nhau với điều kiện lỗ đen đã an bài ở trạng thái không thay đổi theo thời gian.

Tính chất không giảm của diện tích lỗ đen rất giống với tính chất của một đại lượng vật lý có tên là entropy– đại



Hình 7.2

Hình 7.3

lượng là thước đo mức độ hỗn loạn hay mức độ mất trật tự của một hệ. Kinh nghiệm hàng ngày cũng cho chúng ta biết rằng nếu để các vật tự nó thì mức độ hỗn loạn sẽ có xu hướng tăng. (Chỉ cần ngừng sửa chữa xung quanh nhà là bạn sẽ thấy điều đó ngay!). Người ta có thể tạo ra trật tự từ sự mất trật tự (ví dụ như bạn có thể quét sơn lại nhà), nhưng điều đó yêu cầu phải tốn sức lực hoặc năng lượng và như vậy có nghĩa là làm giảm lượng năng lượng trật tự sẵn có.

Phát biểu chính xác ý tưởng trên chính là nguyên lý hai của nhiệt động học. Nguyên lý này phát biểu rằng: entropy của một hệ cô lập luôn luôn tăng, và rằng khi hai hệ hợp lại

với nhau làm một thì entropy của hệ hợp thành sẽ lớn hơn tổng entropy của hai hệ riêng rẽ. Ví dụ, xét một hệ phân tử khí đựng trong một cái hộp. Có thể xem những phân tử như những quả cầu bi-a nhỏ liên tục va chạm với nhau và với thành hộp. Nhiệt độ của khí càng cao thì các phân tử chuyển động càng nhanh và chúng va chạm càng thường xuyên và càng mạnh với thành hộp, do đó áp suất chúng đè lên thành hộp càng lớn. Giả sử rằng ban đầu tất cả các phân tử bị giam ở nửa trái của hộp bằng một vách ngăn. Nếu bỏ vách ngăn đi các phân tử sẽ có xu hướng tràn ra chiếm cả hai nửa của hộp. Ở thời điểm nào đó sau đấy, do may rủi, có thể tất cả các phân tử sẽ dồn cả sang nửa phải hoặc trở lại nửa trái của hộp, nhưng khả năng chắc chắn hơn rất nhiều là chúng có số lượng gần bằng nhau ở cả hai nửa hộp. Một trạng thái như vậy kém trật tự hơn hay nói cách khác là hỗn loạn hơn trạng thái ban đầu trong đó mọi phân tử chỉ ở trong một nửa hộp. Do đó, người ta nói rằng entropy của khí đã tăng lên. Tương tự, giả sử rằng ta bắt đầu với hai hộp, một hộp chứa các phân tử ôxy và một hộp chứa các phân tử nitơ. Nếu người ta ghép hai hộp với nhau và bỏ vách ngăn đi thì các phân tử oxy và nitơ sẽ bắt đầu trộn lẫn vào nhau. Ở một thời điểm nào đó sau đấy, trạng thái có xác suất lớn nhất sẽ là sự trộn khá đều các phân tử ôxy và nitơ trong cả hai hộp. Trạng thái đó là hỗn loạn hơn và do đó có entropy lớn hơn trạng thái ban đầu của hai hộp riêng rẽ.

Nguyên lý thứ hai của nhiệt động học có vị trí hơi khác so với các định luật khoa học khác, chẳng hạn như định luật hấp dẫn của Newton, bởi vì nó không phải luôn luôn đúng mà chỉ đúng trong đại đa số các trường hợp mà thôi. Xác suất

để tất cả các phân tử trong cái hộp đầu tiên của chúng ta dồn cả về một nửa của hộp ở thời điểm sau khi bỏ vách ngăn chỉ bằng một phần nhiều triệu triệu, nhưng nó vẫn có thể xảy ra. Tuy nhiên, nếu có một lỗ đen ở cạnh thì dường như có một cách khá dễ dàng vi phạm nguyên lý đó: chỉ cần ném một số vật chất có lượng entropy lớn, như một hộp khí chẳng hạn, vào lỗ đen. Khi đó tổng số entropy của vật chất ở ngoài lỗ đen sẽ giảm. Tất nhiên, người ta vẫn còn có thể viện lý rằng entropy tổng cộng, kể cả entropy trong lỗ đen sẽ không giảm, nhưng vì không có cách gì đề nhìn vào lỗ đen, nên chúng ta không thể thấy được vật chất trong đó chứa bao nhiêu entropy. Khi này sẽ thật là tuyệt vời nếu có một đặc tính nào đó của lỗ đen mà qua nó người quan sát ở bên ngoài có thể biết về entropy của lỗ đen và đặc tính này lại tăng bất cứ khi nào có một lượng vật chất mang entropy rơi vào lỗ đen. Dựa trên sự phát hiện vừa mô tả ở trên cho thấy rằng diện tích của chân trời sự cố tăng bất cứ khi nào có một lượng vật chất rơi vào lỗ đen, một nghiên cứu sinh ở Princeton tên là Jacob Bekenstein đã đưa ra giả thuyết rằng diện tích của chân trời sự cố chính là thước đo entropy của lỗ đen. Khi vật chất mang entropy rơi vào lỗ đen, diện tích của chân trời sự cố tăng, nên tổng entropy của vật chất ngoài lỗ đen và diện tích chân trời sự cố sẽ không khi nào giảm.

Giả thuyết này dường như đã tránh cho nguyên lý thứ hai nhiệt động học không bị vi phạm trong hầu hết mọi tình huống. Tuy nhiên, vẫn còn một khe hở tai hại. Nếu lỗ đen có entropy thì nó cũng sẽ phải có nhiệt độ. Nhưng một vật có nhiệt độ thì sẽ phải phát xạ với một tốc độ nào đó. Kinh

nghiệm hàng ngày cũng cho thấy rằng nếu người ta nung nóng một que cời trong lửa thì nó sẽ nóng đỏ và bức xạ, nhưng những vật ở nhiệt độ thấp cũng bức xạ, chỉ có điều lượng bức xạ khá nhỏ nên người ta thường không nhận thấy mà thôi. Bức xạ này đòi hỏi phải có để tránh cho nguyên lý thứ hai khỏi bị vi phạm. Như vậy, các lỗ đen cũng cần phải bức xạ. Nhưng theo chính định nghĩa của nó thì lỗ đen là vật được xem là không phát ra gì hết. Và do đó dường như diện tích của chân trời sự cố không thể xem như là entropy của lỗ đen. Năm 1972 cùng với Bradon Carte và một đồng nghiệp Mỹ Jim Bardeen, chúng tôi đã viết một bài báo trong đó chỉ ra rằng tuy có nhiều điểm tương tự giữa diện tích của chân trời sự cố và entropy nhưng vẫn còn một khó khăn đầy tai hại đó. Tôi cũng phải thú nhận rằng khi viết bài báo đó, tôi đã bị thúc đẩy một phần bởi sự bực tức đối với Bekenstein, người mà tôi cảm thấy đã lạm dụng phát hiện của tôi về diện tích của chân trời sự cố. Tuy nhiên, cuối cùng hóa ra anh ta về căn bản lại là đúng, mặc dù theo một cách mà chính anh ta cũng không ngờ.

Tháng 9 năm 1973, trong thời gian đến thăm Matxcova tôi đã thảo luận về các lỗ đen với hai chuyên gia hàng đầu của Liên Xô là Yakov Zedovich và Alexander Starobinsky. Họ khẳng định với tôi rằng theo nguyên lý bất định của cơ học lượng tử thì các lỗ đen quay cần phải sinh và phát ra các hạt. Tôi tin cơ sở vật lý trong những lý lẽ của họ, nhưng tôi không thích phương pháp toán học mà họ sử dụng để tính toán sự phát xạ hạt. Do đó, tôi đã bắt tay vào tìm tòi một cách xử lý toán học tốt hơn mà tôi đã trình bày tại seminar thông báo ở Oxford vào cuối tháng 11 năm 1973. Vào thời gian đó, tôi

còn chưa tiến hành tính toán để tìm ra sự phát xạ thực sự là bằng bao nhiêu. Tôi chờ đợi người ta sẽ phát hiện được chính xác bức xạ từ các lỗ đen quay mà Zeldovich và Starobisky đã tiên đoán. Tuy nhiên, khi tính xong tôi vô cùng ngạc nhiên và băn khoăn thấy rằng thậm chí cả các lỗ đen không quay dường như cũng sinh và phát ra các hạt với tốc độ đều. Thoạt tiên, tôi nghĩ rằng đó là dấu hiệu cho biết một trong những phép gần đúng mà tôi sử dụng là không thoả đáng. Tôi ngại rằng nếu Bekenstein phát hiện ra điều đó, anh ta sẽ dùng nó như một lý lẽ nữa để củng cố ý tưởng của mình về entropy của các lỗ đen, điều mà tôi vẫn còn không thích. Tuy nhiên, càng suy nghĩ tôi càng thấy những phép gần đúng đó thực sự là đúng đắn. Nhưng điều đã thuyết phục hẳn được tôi rằng sự phát xạ là có thực, đó là phổ của các hạt bức xạ giống hệt như phổ phát xạ của vật nóng và các lỗ đen phát ra các hạt với tốc độ chính xác để không vi phạm nguyên lý hai. Sau đó, những tính toán đã được lặp đi lặp lại dưới nhiều dạng khác nhau và bởi những người khác. Tất cả họ đều khẳng định rằng lỗ đen cần phải phát ra các hạt và bức xạ hệt như nó là một vật nóng với nhiệt độ chỉ phụ thuộc vào khối lượng của nó: khối lượng càng lớn thì nhiệt độ càng thấp.

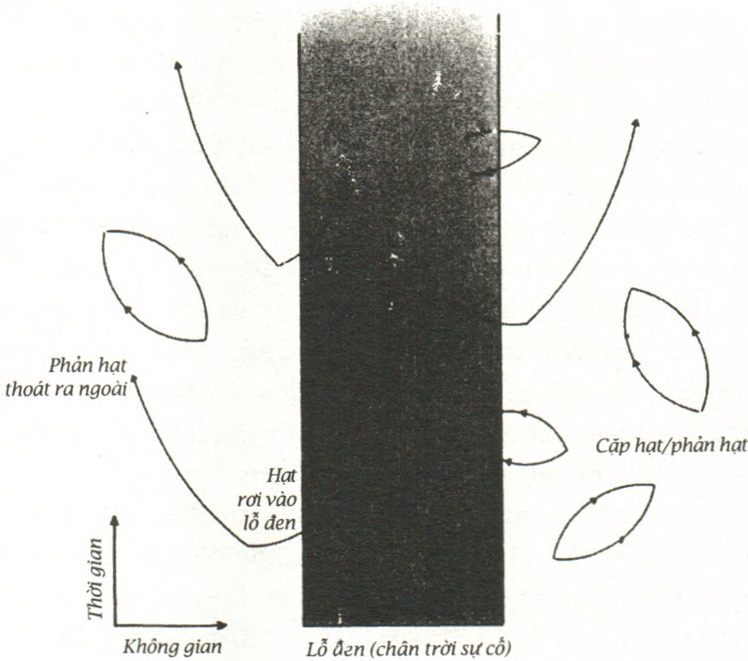
Nhưng làm sao các lỗ đen lại có thể phát ra các hạt trong khi chúng ta biết rằng không vật gì từ phía trong có thể có thể thoát ra khỏi chân trời sự cố? Câu trả lời mà cơ học lượng tử nói với chúng ta là: các hạt không phát ra từ bên trong lỗ đen mà là từ không gian "trống rỗng" ở ngay bên ngoài chân trời sự cố của lỗ đen! Chúng ta có thể hiểu điều này như sau: cái mà chúng ta quen nghĩ là không gian "trống rỗng" lại không thể hoàn toàn là trống rỗng bởi vì điều đó có nghĩa là

tất cả các trường như trường hấp dẫn và trường điện từ sẽ cần phải chính xác bằng không. Tuy nhiên, giá trị của trường và tốc độ thay đổi của nó theo thời gian cũng giống như vị trí và vận tốc của hạt: nguyên lý bất định buộc rằng nếu người ta biết một trong hai đại lượng đó càng chính xác thì có thể biết về đại lượng kia càng kém chính xác! Vì vậy, trong không gian trống rỗng trường không cố định ở giá trị chính xác bằng không, bởi vì nếu trái lại, thì trường sẽ có cả giá trị chính xác (bằng không) và tốc độ thay đổi của nó cũng chính xác (bằng không). Cần phải có một lượng bất định tối thiểu nào đó, hay người ta nói rằng có những thăng giáng lượng tử trong giá trị của trường. Người ta có thể xem những thăng giáng đó như một cặp hạt ánh sáng hoặc hấp dẫn cùng xuất hiện ở một thời điểm nào đó, đi ra xa nhau rồi lại gặp lại và hủy nhau. Những hạt này là những hạt ảo giống như các hạt mang lực hấp dẫn của Mặt trời: không giống các hạt thực, chúng không thể quan sát được một cách trực tiếp bằng máy dò hạt. Tuy nhiên, những hiệu ứng gián tiếp của chúng, chẳng hạn những thay đổi nhỏ về năng lượng của các quỹ đạo êlectron trong nguyên tử, đều có thể đo được và phù hợp với những tính toán lý thuyết với một độ chính xác rất cao. Nguyên lý bất định cũng tiên đoán rằng có cả những cặp hạt ảo của các hạt vật chất như êlectron hoặc quark. Tuy nhiên, trong trường hợp này một thành viên của cặp là hạt, còn thành viên kia là phản hạt (các phản hạt của ánh sáng và hấp dẫn giống hệt như hạt).

Vì năng lượng không thể sinh ra từ hư vô, nên một trong các thành viên của cặp hạt/phản hạt sẽ có năng lượng dương và thành viên kia sẽ có năng lượng âm. Thành viên có

năng lượng âm buộc phải là hạt ảo có thời gian sống ngắn vì các hạt thực luôn luôn có năng lượng dương trong các tình huống thông thường. Do đó, hạt ảo này phải đi tìm thành viên cùng cặp để hủy cùng với nó. Tuy nhiên, một hạt thực ở gần một vật nặng sẽ có năng lượng nhỏ hơn so với khi nó ở xa, bởi vì khi đưa nó ra xa cần phải tốn năng lượng để chống lại lực hút hấp dẫn của vật đó. Thường thường, năng lượng của hạt vẫn còn là dương, nhưng trường hợp lực hấp dẫn trong lỗ đen mạnh tới mức thậm chí một hạt thực ở đó cũng có năng lượng âm. Do đó, khi có mặt lỗ đen, hạt ảo với năng lượng âm khi rơi vào lỗ đen cũng có thể trở thành hạt thực hoặc phản-hạt thực. Trong trường hợp đó, nó không còn cần phải hủy với bạn cùng cặp của nó nữa. Người bạn bị bỏ rơi này cũng có thể rơi vào lỗ đen, hoặc khi có năng lượng dương nó cũng có thể thoát ra ngoài vùng lân cận của lỗ đen như một hạt thực hoặc phản hạt-thực (H.7.4.). Đối với người quan sát ở xa thì dường như nó được phát ra từ lỗ đen. Lỗ đen càng nhỏ thì khoảng cách mà hạt có năng lượng âm cần phải đi trước khi trở thành hạt thực sẽ càng ngắn và vì vậy tốc độ phát xạ và nhiệt độ biểu kiến của lỗ đen càng lớn.

Năng lượng dương của bức xạ đi ra sẽ được cân bằng bởi dòng hạt năng lượng âm đi vào lỗ đen. Theo phương trình Einstein $E = mc^2$ (ở đây E là năng lượng, m là khối lượng và c là vận tốc sáng), tức năng lượng tỷ lệ với khối lượng. Do đó dòng năng lượng âm đi vào lỗ đen sẽ làm giảm khối lượng của nó. Vì lỗ đen mất khối lượng nên diện tích chân trời sự cố sẽ nhỏ đi, nhưng sự giảm đó của entropy được bù lại còn nhiều hơn bởi entropy của bức xạ phát ra vì vậy nguyên lý thứ hai sẽ không khi nào bị vi phạm.



Hình 7.4

Hơn nữa, khối lượng của lỗ đen càng nhỏ thì nhiệt độ của nó càng cao. Do vậy, khi lỗ đen mất khối lượng, nhiệt độ và tốc độ bức xạ của nó tăng, dẫn tới nó mất khối lượng còn nhanh hơn nữa. Điều gì sẽ xảy ra khi khối lượng của lỗ đen cuối cùng trở nên cực kỳ nhỏ hiện vẫn còn chưa rõ, nhưng phỏng đoán có lý nhất là phỏng đoán cho rằng nó sẽ hoàn toàn biến mất trong sự bùng nổ bức xạ khổng lồ cuối cùng, tương đương với sự nổ của hàng triệu quả bom khinh khí.

Lỗ đen có khối lượng lớn hơn khối lượng của Mặt trời một ít lần sẽ có nhiệt độ chỉ khoảng một phần mười triệu độ trên không độ tuyệt đối. Nó nhỏ hơn nhiều so với nhiệt độ của các bức xạ sóng cực ngắn (tức là bức xạ nền - ND) choán đầy vũ trụ (khoảng 2,7K), vì thế những lỗ đen này phát xạ thậm chí còn ít hơn hấp thụ. Nếu vũ trụ được an bài là sẽ giãn nở mãi mãi, thì nhiệt độ của các bức xạ sóng cực ngắn cuối cùng sẽ giảm tới mức nhỏ hơn nhiệt độ của lỗ đen và lỗ đen khi đó sẽ bắt đầu mất khối lượng. Nhưng ngay cả khi đó thì nhiệt độ của nó vẫn thấp đến mức cần khoảng 1 triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu (1 với sáu mươi sáu số không đứng sau) năm để lỗ đen bay hơi hoàn toàn. Con số đó lớn hơn nhiều so với tuổi của vũ trụ bằng 1 hoặc 2 và 10 con số không đứng sau (tức khoảng 10 hoặc 20 tỷ năm). Mặt khác, như đã nói ở Chương 6 có thể có những lỗ đen nguyên thủy được tạo thành bởi sự co lại của những bất thường trong giai đoạn rất sớm của vũ trụ. Những lỗ đen nguyên thủy với khối lượng ban đầu cỡ một tỷ tấn sẽ có thời gian sống xấp xỉ tuổi của vũ trụ. Những lỗ đen nguyên thủy với khối lượng nhỏ hơn con số đó chắc là đã bốc hơi hoàn toàn, nhưng những lỗ đen với khối lượng hơi lớn hơn sẽ vẫn còn đang tiếp tục phát xạ dưới dạng tia X hoặc tia gamma. Các tia X và tia gamma này giống như ánh sáng chỉ có điều bước sóng của chúng ngắn hơn nhiều. Những lỗ đen như thế khó mà gán cho cái nhãn là đen: Chúng thực sự *nóng trắng* và phát năng lượng với tốc độ khoảng mười ngàn mega oát.

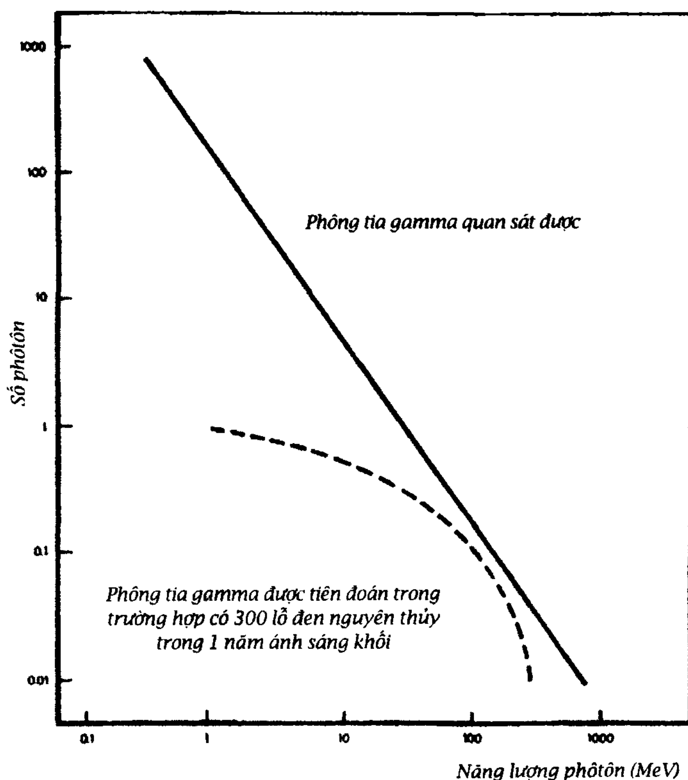
Một lỗ đen như vậy có thể cung cấp đủ năng lượng cho mười nhà máy điện lớn, nếu chúng ta biết cách khai thác nó. Tuy nhiên, việc này chẳng phải dễ dàng gì: lỗ đen đó có khối

lượng bằng cả một quả núi bị nén lại tới kích thước nhỏ hơn một phần triệu triệu của insơ, nghĩa là cỡ kích thước của hạt nhân nguyên tử! Nếu bạn có một lỗ đen như thế trên mặt đất, bạn sẽ không có cách nào giữ cho nó khỏi rơi xuyên qua sàn nhà xuống tới tâm Trái đất. Nó sẽ dao động xuyên qua Trái đất cho tới khi cuối cùng đậu lại ở tâm. Như vậy chỗ duy nhất đặt được một lỗ đen như vậy để có thể khai thác năng lượng do nó bức xạ ra là ở trên một quỹ đạo quay xung quanh Trái đất và cách duy nhất có thể đưa nó lên quỹ đạo ấy là hút nó tới đó bằng cách kéo một khối lượng lớn phía trước nó hệt như dùng củ cà rốt nhử con lừa. Điều này xem ra không phải là một đề nghị thực tế lắm, ít nhất cũng là trong tương lai gần.

Nhưng thậm chí nếu chúng ta không thể khai thác được sự phát xạ từ các lỗ đen nguyên thủy thì liệu chúng ta có cơ may quan sát được chúng không? Chúng ta có thể tìm kiếm các tia gamma mà các lỗ đen nguyên thủy phát ra trong hầu hết thời gian sống của chúng. Mặc dù phát xạ từ phần lớn các lỗ đen đều rất yếu vì chúng ở quá xa, nhưng tổng số của chúng thì có thể phát hiện được. Chúng ta hãy quan sát kĩ một nền tia gamma như vậy: hình 7.5 cho thấy cường độ quan sát được khác nhau ở những tần số khác nhau. Tuy nhiên, nền tia gamma này có thể và chắc là được sinh ra bởi những quá trình khác hơn là bởi các lỗ đen nguyên thủy. Đường chấm chấm trên hình 7.5 cho thấy cường độ phải biến thiên thế nào theo tần số đối với các tia gamma do lỗ đen nguyên thủy gây ra nếu trung bình có 300 lỗ đen như thế trong một năm ánh sáng khối. Do đó người ta có thể nói rằng những quan sát nền tia gamma không cho một bằng chứng

khẳng định nào về các lỗ đen nguyên thủy, nhưng chúng cho chúng ta biết trong vũ trụ về trung bình không thể có hơn 300 lỗ đen như thế trong một năm-ánh sáng khối. Giới hạn đó có nghĩa là các lỗ đen nguyên thủy có thể tạo nên nhiều nhất là một phần triệu số vật chất của vũ trụ.

Với các lỗ đen nguyên thủy phân bố thưa thớt như vậy khó mà có khả năng một lỗ đen như thế ở đủ gần chúng ta để có thể quan sát nó như một nguồn tia gamma riêng rẽ.



Hình 7.5

Nhưng vì lực hấp dẫn sẽ kéo những lỗ đen nguyên thủy tới gần vật chất nên chúng sẽ thường gặp nhiều hơn ở trong hay gần các thiên hà. Như vậy, mặc dù nền tia gamma cho chúng ta biết rằng trung bình không thể có hơn 300 lỗ đen nguyên thủy trong một năm-ánh sáng khối, nhưng nó lại chẳng cho chúng ta biết gì về tần suất gặp chúng trong thiên hà của chúng ta. Chẳng hạn, nếu như chúng một triệu lần thường gặp hơn con số trung bình thì lỗ đen gần chúng ta nhất chắc cũng phải cách chúng ta chừng một tỷ km, tức là xa như Diêm vương tinh, hành tinh xa nhất mà chúng ta biết. Ở khoảng cách đó vẫn còn rất khó phát hiện bức xạ đều của một lỗ đen, ngay cả khi nó là mười ngàn mega oát. Để quan sát được một lỗ đen nguyên thủy người ta phải phát hiện được một vài lượng tử gamma tới từ chính hướng đó trong một khoảng thời gian hợp lý, ví dụ như một tuần lễ, chẳng hạn. Nếu không, chúng đơn giản chỉ là một phần của nền mà thôi. Nhưng nguyên lý lượng tử của Plank cho chúng ta biết rằng mỗi một lượng tử gamma có năng lượng rất cao, vì tia gamma có tần số rất cao, nên thậm chí nó có phát xạ với công suất 10 ngàn mega oát thì cũng không phải có nhiều lượng tử lắm. Và để quan sát được một số lượng tử, lại tới từ khoảng cách rất xa như Diêm vương tinh, đòi hỏi phải có một máy dò lớn hơn bất cứ máy dò nào đã được chế tạo cho tới nay. Hơn nữa, máy dò này lại phải đặt trong không gian vũ trụ vì các tia gamma không thể thâm nhập qua bầu khí quyển Trái đất được.

Tất nhiên, nếu một lỗ đen ở cách xa như Diêm vương tinh đã đến ngày tận số và bùng nổ thì sẽ dễ dàng phát hiện được sự bùng nổ bức xạ của nó. Nhưng nếu lỗ đen đó liên tục bức

xạ trong khoảng 10 hoặc 20 tỷ năm trở lại đây thì xác suất để nó tận số trong vòng ít năm tới, chứ không phải vài triệu năm trong quá khứ hoặc tương lai, thực sự là rất nhỏ! Vì vậy, để có một cơ may hợp lý nhìn thấy vụ nổ của lỗ đen trước khi tiền trợ cấp nghiên cứu của bạn tiêu hết thì bạn phải tìm cách phát hiện những vụ nổ ở trong khoảng cách một năm ánh sáng. Thực tế những bùng phát tia gamma trong không gian đã được phát hiện bởi các vệ tinh vốn ban đầu dùng để phát hiện những vi phạm *Hiệp định cấm thử vũ khí hạt nhân*. Những bùng phát này xảy ra khoảng 16 lần trong một tháng và phân bố gần như đều ngang qua bầu trời. Điều này chỉ ra rằng chúng tới từ bên ngoài Hệ mặt trời, vì nếu không, chúng ta chờ đợi chúng sẽ tập trung về mặt phẳng quỹ đạo của các hành tinh. Phân bố đều cũng cho biết rằng những nguồn này hoặc ở khá gần, trong thiên hà chúng ta, hoặc ở bên ngoài và rất xa, bởi vì nếu không chúng sẽ lại tập trung hướng về mặt phẳng của thiên hà. Trong trường hợp thứ hai, năng lượng được đòi hỏi để giải thích các bùng phát này là quá cao, nên không thể được tạo ra bởi các lỗ đen nhỏ nhưng nếu các nguồn đã ở gần (theo nghĩa thiên hà) thì rất có thể chúng là các lỗ đen bùng nổ. Bản thân tôi rất thích trường hợp này là đúng, nhưng tôi cũng phải thừa nhận rằng có nhiều cách giải thích khác cho các bùng phát gamma, chẳng hạn như các sao nơtron va chạm nhau. Những quan sát mới tiến hành trong những năm gần đây đặc biệt là các detector thu sóng hấp dẫn như LIGO hẳn sẽ giúp chúng ta phát hiện ra nguồn gốc của các bùng phát gamma.

Ngay cả khi nếu việc tìm kiếm các lỗ đen nguyên thủy không có kết quả, vì điều này vẫn có thể xảy ra, thì nó vẫn

cho chúng ta những thông tin quan trọng về những giai đoạn rất sớm của vũ trụ. Nếu vũ trụ ở giai đoạn rất sớm là hỗn loạn và bất thường hoặc nếu áp suất vật chất là thấp thì người ta có thể nghĩ rằng nó đã tạo ra nhiều lỗ đen nguyên thủy hơn là giới hạn đã được xác lập dựa trên những quan sát về phông tia gamma. Chỉ nếu ở giai đoạn rất sớm, vũ trụ là rất trơn tru và đồng đều với áp suất cao thì người ta mới có thể giải thích được tại sao lại không có nhiều lỗ đen nguyên thủy quan sát được.

Ý tưởng về bức xạ phát từ các lỗ đen là ví dụ đầu tiên về sự tiên đoán phụ thuộc một cách căn bản vào cả hai lý thuyết lớn của thế kỷ chúng ta: thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử. Nó đã gặp nhiều ý kiến phản đối lúc đầu vì nó làm đảo lộn quan điểm hiện thời "làm sao một lỗ đen lại có thể phát ra cái gì đó?" Khi lần đầu tiên công bố các kết quả tính toán của tôi tại một hội nghị ở Phòng thí nghiệm Rurtherford-Appleton gần Oxford, tôi đã được chào đón bằng sự hoài nghi của hầu hết mọi người. Vào lúc kết thúc bản báo cáo của tôi, vị chủ tọa phiên họp, ông John Taylor của trường Kings College, London đã đứng dậy tuyên bố rằng tất cả những thứ đó là vô nghĩa. Thậm chí ông còn viết một bài báo về vấn đề này. Tuy nhiên, rồi cuối cùng, hầu hết mọi người, kể cả ông John Taylor cũng đã đi đến kết luận rằng các lỗ đen cần phải phát bức xạ như các vật nóng, nếu những quan niệm khác của chúng ta về thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử là đúng đắn. Như vậy, mặc dù ngay cả khi chúng ta còn chưa tìm thấy một lỗ đen nguyên thủy nào vẫn có một sự khá nhất trí cho rằng nếu chúng ta phát hiện ra lỗ đen đó thì nó sẽ phải phát ra một lượng lớn tia X và tia gamma.

Sự tồn tại của bức xạ phát ra từ lỗ đen cũng còn ngụ ý rằng sự co lại do hấp dẫn không phải là chấm hết và không thể đảo ngược được như một thời chúng ta đã nghĩ. Nếu một nhà du hành rơi vào một lỗ đen thì khối lượng của nó sẽ tăng, nhưng cuối cùng năng lượng tương đương với khối lượng gia tăng đó sẽ được trả lại cho vũ trụ dưới dạng bức xạ. Như vậy theo một ý nghĩa nào đó nhà du hành vũ trụ của chúng ta đã được luân hồi. Tuy nhiên, đó là một số phận bất tử đáng thương, và quan niệm cá nhân về thời gian của nhà du hành chắc cũng sẽ chấm hết khi anh ta bị xé ra từng mảnh trong lỗ đen! Ngay cả các loại hạt cuối cùng được phát ra từ lỗ đen nói chung cũng sẽ khác với những hạt đã tạo nên nhà du hành: đặc điểm duy nhất còn lại của anh ta chỉ là khối lượng và năng lượng.

Những phép gần đúng mà tôi sử dụng để tính toán sự phát xạ từ lỗ đen vẫn còn hiệu lực tốt khi lỗ đen có khối lượng chỉ lớn hơn một phần của gam. Tuy nhiên, chúng sẽ không còn dùng được nữa ở điểm cuối đời của lỗ đen, khi mà khối lượng của nó trở nên cực nhỏ. Kết cục có nhiều khả năng nhất là lỗ đen sẽ biến mất, ít nhất là khỏi vùng vũ trụ của chúng ta mang theo cả nhà du hành và kỳ dị có thể có ở bên trong nó. Đây là chỉ dẫn đầu tiên cho thấy cơ học lượng tử có thể khử các kỳ dị đã được tiên đoán bởi thuyết tương đối rộng. Tuy nhiên, các phương pháp mà tôi và những người khác sử dụng vào năm 1974 chưa thể trả lời được cho những câu hỏi, ví dụ như liệu những kỳ dị đó có xuất hiện trong lý thuyết lượng tử hấp dẫn hay không? Do đó từ năm 1975 trở đi tôi đã bắt đầu phát triển một cách tiếp cận mạnh hơn đối với hấp dẫn lượng tử dựa trên ý tưởng của Richard

Feynman về phép lấy tổng theo những lịch sử. Câu trả lời mà cách tiếp cận này đưa ra cho nguồn gốc và số phận của vũ trụ và những thứ chứa bên trong nó, chẳng hạn như nhà du hành, sẽ được mô tả ở hai chương sau. Chúng ta sẽ thấy rằng mặc dù nguyên lý bất định đặt những hạn chế về độ chính xác cho tất cả các tiên đoán của chúng ta, nhưng đồng thời nó lại loại bỏ được tính không thể tiên đoán – một tính chất rất cơ bản xảy ra ở điểm kỳ dị của không-thời gian.

8.

NGUỒN GỐC VÀ SỐ PHẬN CỦA VŨ TRỤ

Lý thuyết tương đối rộng của Einstein, tiên đoán rằng không gian, thời gian bắt đầu từ kỳ dị vụ nổ lớn, sẽ kết thúc hoặc tại một kỳ dị vụ co lớn (trường hợp toàn vũ trụ co lại) hoặc tại một kỳ dị nằm bên trong một lỗ đen (trường hợp một vùng định xứ, ví dụ một sao co lại). Mọi vật chất rơi vào lỗ đen, sẽ bị phá hủy tại điểm kỳ dị, chỉ còn lại hiệu ứng hấp dẫn của khối lượng là còn được cảm nhận từ phía bên ngoài. Mặt khác, khi các hiệu ứng lượng tử được tính đến thì dường như khối lượng và năng lượng của vật chất cuối cùng sẽ trở về với phần còn lại của vũ trụ, và lỗ đen cùng với mọi kỳ dị bên trong sẽ bay hơi và biến mất. Liệu cơ học lượng tử có gây một hiệu ứng bi kịch như thế đối với kỳ dị vụ nổ lớn và kỳ dị vụ co lớn hay không? Điều gì thực tế đã và sẽ xảy ra vào các giai đoạn rất sớm và muộn hơn của vũ trụ, khi các trường hợp hấp dẫn mạnh đến mức mà các hiệu ứng lượng tử không thể nào bỏ qua được? Thực tế

vũ trụ có một điểm bắt đầu và một điểm kết thúc hay không? Và nếu có, thì phải hình dung chúng ra sao?

Trong suốt những năm 70 tôi đã tập trung nghiên cứu các lỗ đen, nhưng vào năm 1981, tôi lại lưu tâm đến các vấn đề xung quanh nguồn gốc và số phận của vũ trụ khi tôi tham gia một hội thảo về vũ trụ học tổ chức bởi các tu sĩ dòng Jesuit tại Vatican. Nhà thờ Thiên chúa giáo đã phạm một sai lầm đối với Galileo khi họ phủ định một định luật khoa học vì tuyên bố rằng Mặt trời phải quay quanh quả đất. Bây giờ sau nhiều thế kỷ, họ đã quyết định mời nhiều nhà khoa học làm cố vấn về vũ trụ học. Cuối hội nghị các nhà khoa học đã được tiếp kiến Giáo hoàng. Ông nói rằng nghiên cứu sự tiến triển của vũ trụ sau Vụ nổ lớn là đúng, song Nhà thờ không tìm hiểu về bản thân Vụ nổ lớn vì đó là thời điểm của Sáng tạo, nên thuộc công việc của Chúa. Tôi rất vui mừng vì đức Giáo hoàng không biết đến đề tài bài phát biểu của tôi tại hội thảo: đó là khả năng không-thời gian là hữu hạn song không có biên, điều đó có nghĩa là không có cái ban đầu, không có thời điểm của Sáng tạo. Tôi không có ý muốn chịu cùng số phận của Galileo, người mà tôi có một cảm giác mạnh mẽ về sự đồng nhất với tôi, một phần vì sự trùng hợp giữa ngày sinh của tôi đúng tròn 300 năm sau ngày chết của ông.

Để giải thích các ý tưởng của tôi và những người khác về điều cơ học lượng tử có thể tác động lên nguồn gốc và số phận của vũ trụ, trước hết cần phải hiểu về lịch sử của vũ trụ theo quan điểm được nhiều người chấp nhận, dựa trên mô hình được biết dưới cái tên "mô hình nóng của vụ nổ lớn". Mô hình này giả định rằng vũ trụ được miêu tả bởi một mô hình Friedmann, ngược theo thời gian mãi tận lúc có Vụ nổ lớn.

Trong những mô hình như vậy người ta thấy rằng lúc vũ trụ giãn nở, mọi vật chất và bức xạ sẽ lạnh dần. (Khi vũ trụ đạt kích thước gấp đôi thì nhiệt độ của vũ trụ hạ xuống một nửa). Vì nhiệt độ là số đo năng lượng trung bình – hay vận tốc – của các hạt, quá trình lạnh dần này sẽ gây một hiệu ứng lớn đối với vật chất trong vũ trụ. Ở nhiệt độ rất cao, các hạt chuyển động nhanh đến mức có thể thoát khỏi mọi trường hút giữa chúng với nhau do lực hạt nhân hoặc lực điện từ tạo nên, song khi chúng trở nên lạnh thì chúng hút nhau và kết dính với nhau. Ngoài ra, các loại hạt tồn tại trong vũ trụ cũng phụ thuộc vào nhiệt độ. Ở nhiệt độ đủ cao, các hạt có năng lượng lớn và khi chạm nhau, nhiều cặp hạt/phản hạt có thể sinh ra và mặc dù nhiều hạt sau khi sinh ra có thể bị hủy lúc chạm các phản hạt, nhưng chúng vẫn được sinh ra nhanh hơn bị hủy đi. Ở nhiệt độ thấp hơn, khi các hạt va chạm nhau có năng lượng nhỏ hơn, các cặp hạt/phản hạt sinh ra với tốc độ chậm hơn và như vậy quá trình hủy của chúng nhanh hơn quá trình sinh.

Tại Vụ nổ lớn, kích thước của vũ trụ được xem như là bằng không, vì nhiệt độ là vô cùng lớn. Song trong quá trình giãn nở, nhiệt độ của bức xạ sẽ giảm xuống. Một giây sau vụ nổ lớn, nhiệt độ đã giảm xuống còn khoảng 10 tỷ độ. Nhiệt độ này cỡ ngàn lần nhiệt độ ở tâm Mặt trời và cỡ nhiệt độ đạt được lúc bom H (tức bom khinh khí) nổ. Vào thời điểm đó vũ trụ chứa phần lớn các phôtôn, êlectron và nơtrinô (là những hạt cực nhẹ chỉ tham gia tương tác yếu và hấp dẫn) và các phản hạt của chúng, cùng với một số prôtôn và nơtrôn. Lúc vũ trụ tiếp tục giãn nở và nhiệt độ hạ xuống thì các cặp êlectron/phản-êlectron sinh ra chậm hơn là bị hủy. Vì thế

phần lớn các êlectron và phản-êlectron hủy với nhau để tạo thành nhiều phôtôn hơn và để sót lại một số êlectron. Song các hạt nơtrinô và phản-nơtrinô ít hủy nhau vì các hạt này tương tác với nhau và với các hạt khác rất yếu. Cho nên hiện nay chúng vẫn còn tồn tại trong vũ trụ. Nếu ta có thể quan sát được chúng thì ta sẽ có một bằng chứng chắc chắn về bức tranh của giai đoạn nóng đầu tiên của vũ trụ. Tiếc thay, năng lượng của chúng ngày nay quá nhỏ để ta có thể quan sát được chúng một cách trực tiếp. Nhưng nếu nơtrinô có một khối lượng nhỏ, theo kết quả một thí nghiệm chưa được kiểm chứng lại do những người Nga thực hiện năm 1981, thì ta có thể ghi đo được chúng một cách gián tiếp: chúng có thể là một dạng của "vật chất tối", như đã được nói tới ở trên, vật chất sẽ sinh ra một lực hấp dẫn đủ để hãm đứng sự giãn nở của vũ trụ và buộc vũ trụ co trở lại.

Khoảng một trăm giây sau vụ nổ lớn, nhiệt độ xuống còn một tỷ độ, bằng nhiệt độ trong các sao nóng nhất. Ở nhiệt độ đó prôtôn và nơtrôn không còn đủ năng lượng để thoát khỏi sức hút của lực hạt nhân và kết hợp với nhau để tạo tạo thành một hạt nhân nguyên tử đơteri (hydro nặng), gồm một prôtôn và một nơtrôn. Các hạt nhân của đơteri lại kết hợp thêm với các prôtôn và nơtrôn khác để tạo thành hạt nhân hêli, gồm hai prôtôn và hai nơtrôn và một số hạt nhân nặng hơn là liti và berili. Người ta có thể tính ra rằng trong mô hình nóng của Vụ nổ lớn, khoảng một phần tư các prôtôn và nơtrôn biến thành hạt nhân hêli, cùng một số nhỏ hydro nặng và các hạt nhân khác. Số nơtrôn còn lại phân hủy thành prôtôn vốn là hạt nhân của nguyên tử hydro.

Bức tranh về giai đoạn nóng trước đây của vũ trụ lần đầu

tiên được phác họa bởi George Gamow trong công trình nổi tiếng năm 1948, thực hiện chung với một sinh viên của ông là Ralph Alpher. Gamow là một người giàu tính hóm hỉnh, ông thuyết phục nhà vật lý hạt nhân Hans Bethe điền thêm tên mình vào công trình với ý muốn làm cho danh sách tác giả Alpher, Bethe, Gamow đọc lên nghe gần như âm của ba chữ cái đầu tiên của bảng vần Hy Lạp là alpha, beta, gamma: thật là thích hợp cho một công trình nói về giai đoạn đầu của vũ trụ! Trong công trình này, các tác giả tiên đoán một cách đặc sắc rằng bức xạ (dưới dạng các phôtôn) từ những giai đoạn nóng tiền sử của vũ trụ vẫn còn tàn dư lại tới giai đoạn hiện nay, song với nhiệt độ hạ xuống chỉ còn vài độ trên không độ tuyệt đối (-273^{0}C). Bức xạ này đã được Penzias và Wilson phát hiện năm 1965. Vào thời gian khi Alpher, Bethe và Gamow viết công trình trên, người ta còn chưa biết nhiều về các phản ứng hạt nhân giữa prôtôn và nơtrôn. Các tính toán dự báo về tỷ lệ các nguyên tố trong tiền sử của vũ trụ vì lẽ trên không được chính xác lắm, song những tính toán đó đã được thực hiện lại trên cơ sở những kiến thức hiện đại và cho những kết quả trùng hợp tốt với các quan trắc thực nghiệm. Hơn nữa, khó mà cắt nghĩa theo một cách nào khác vì sao trong vũ trụ lại nhiều hêli như vậy. Do đó chúng ta có thể tin tưởng rằng chúng ta có một bức tranh đúng đắn, ít nhất ngược lại theo thời gian đến thời điểm khoảng 1 giây sau Vụ nổ lớn.

Trong vòng một vài giờ sau Vụ nổ lớn, sự sinh ra hêli và các nguyên tố khác dừng lại. Sau đó trong vòng triệu năm tiếp theo, vũ trụ tiếp tục giãn nở và không có điều gì đặc biệt xảy ra. Cuối cùng, lúc nhiệt độ hạ xuống còn khoảng vài ngàn

độ, và êlectron cùng các hạt nhân không còn đủ năng lượng thoát khỏi lực hút điện từ giữa chúng, thì chúng kết hợp với nhau tạo thành các nguyên tử. Vũ trụ trong toàn cục tiếp tục giãn nở và lạnh dần, song trong các vùng mà mật độ cao hơn trung bình, quá trình giãn nở có chậm hơn do lực hấp dẫn ở đấy lớn hơn. Điều này có thể dẫn đến sự dừng hẳn quá trình giãn nở của một số vùng nào đó và bắt đầu quá trình co lại. Khi các vùng này co lại, lực hút hấp dẫn của vật chất chung quanh bên ngoài sẽ làm cho các vùng đó bắt đầu quay. Vì các vùng này tiếp tục co nhỏ lại nên chúng quay nhanh hơn, hoàn toàn tương tự như vận động viên trượt băng đang quay trên băng sẽ quay nhanh hơn khi họ co tay sát cơ thể. Cuối cùng, khi vùng đang xét trở nên đủ nhỏ, thì nó quay nhanh hơn đủ cân bằng với lực hấp dẫn và những thiên hà quay dạng hình đĩa được hình thành theo cách đó. Các vùng khác, nếu không thu được một chuyển động quay, thì sẽ có dạng hình bầu dục và sẽ được gọi là những thiên hà elip. Các thiên hà này sẽ dừng co lại vì nhiều bộ phận riêng lẻ của chúng sẽ chuyển động trên những quỹ đạo ổn định quanh tâm thiên hà, song về toàn cục thì thiên hà không có chuyển động quay.

Cùng với thời gian, các khối khí hydro và hêli trong các thiên hà sẽ phân rã thành các đám khí nhỏ hơn và những đám khí này sẽ co lại dưới sức hấp dẫn của chúng. Khi chúng co lại thì các nguyên tử ở trong sẽ va chạm nhau và nhiệt độ của khí sẽ tăng lên, có thể đến mức đủ cao để xảy ra phản ứng nhiệt hạch. Lúc này hydro kết thành hêli, nhiệt lượng thoát ra làm tăng áp suất và các đám mây không co lại thêm nữa. Chúng ổn định trong trạng thái đó rất lâu như các sao giống Mặt trời, đốt cháy hydro thành hêli và bức xạ phát sinh

dưới dạng nhiệt và ánh sáng. Những sao có khối lượng lớn hơn cần có nhiệt độ cao hơn để cân bằng lực hút hấp dẫn lớn hơn của chúng, và các phản ứng nhiệt hạch xảy ra nhanh hơn, cho nên chúng sẽ tiêu hủy hydro trong vòng chừng một trăm triệu năm. Chúng sẽ co lại, nóng lên và bắt đầu biến hêli thành những nguyên tố nặng hơn như cacbon hoặc oxy. Song chúng không để thoát nhiều năng lượng hơn, vì vậy một trạng thái tới hạn sẽ xảy ra như đã miêu tả ở chương nói về các lỗ đen. Điều gì sẽ xảy ra sau đó thì không hoàn toàn rõ lắm song hình như các vùng ở tâm sao sẽ co lại đến một trạng thái mật độ cao như một sao nơtrôn hoặc lỗ đen. Các vùng bên ngoài đôi khi có thể bị bắn ra trong một vụ nổ gọi là vụ nổ sao siêu mới, phát ra ánh sáng mạnh hơn mọi sao khác trong thiên hà. Một số nguyên tố nặng hình thành ở cuối đời một sao sẽ bị bắn trở lại vào đám khí của thiên hà và sẽ là nguyên liệu cho thế hệ tiếp theo của các sao. Mặt trời của chúng ta chứa khoảng 2% các nguyên tố nặng đó vì nó thuộc thế hệ sao thứ hai hoặc thứ ba, hình thành chừng 5 tỷ năm về trước từ một đám mây quay chứa các mảnh vụn của các sao siêu mới thế hệ trước. Phần lớn khí trong các đám mây đó sẽ cấu thành Mặt trời hoặc bị bắn xa, còn một khối lượng nhỏ các nguyên tố nặng sẽ kết hợp với nhau thành các thiên thể hiện đang chuyển động trên các quỹ đạo quanh Mặt trời như Trái đất.

Lúc ban đầu quả đất rất nóng và không có khí quyển. Theo thời gian quả đất lạnh dần và có được bầu khí quyển hình thành nhờ sự khuếch tán các chất khí từ khoáng chất. Bầu khí quyển trong quá khứ không phải là bầu khí quyển thích hợp với cuộc sống. Bầu khí quyển này không chứa oxy mà chỉ

chứa một số chất khí khác là độc tố cho cuộc sống như sunfua hydro (là các chất khí gây ra mùi trứng thối). Song có những dạng sống sơ khai có thể phát triển trong những điều kiện như vậy. Người ta cho rằng sự sống đó bắt đầu trong những đại dương, rất có thể là kết quả ngẫu nhiên của sự phức hợp các nguyên tử thành những cấu trúc lớn, gọi là đại phân tử, những đại phân tử này có khả năng tập hợp nhiều nguyên tử khác trong đại dương thành những cấu trúc tương tự. Như thế chúng có thể tự sinh sản và nhân lên. Trong một số trường hợp có thể xảy ra các sai lầm trong quá trình sinh sản. Phần lớn các sai lầm đó dẫn đến những đại phân tử mới không có khả năng sinh sản và do đó, tàn lụi dần. Song cũng có những sai lầm dẫn đến những đại phân tử lại có khả năng sinh sản. Các đại phân tử này hoàn hảo hơn và sẽ thay thế dần các đại phân tử trước. Bằng cách đó hình thành một quá trình tiến hóa dẫn đến sự phát triển những cơ thể phức tạp hơn, có khả năng tự tạo. Những dạng sống sơ đẳng lúc đầu tiêu thụ nhiều nguyên liệu khác nhau như sunfua hydro và oxy thoát sinh. Quá trình này dần dần làm biến đổi thành phần của khí quyển đến hiện trạng và do đó tạo điều kiện thuận lợi cho các dạng sống cao cấp hơn như cá, bò sát, loài có vú, và cuối cùng là con người.

Bức tranh phác họa trên đây của vũ trụ từ trạng thái rất nóng và lạnh dần trong quá trình giãn nở của vũ trụ phù hợp với những quan trắc có được. Tuy nhiên, bức tranh đó cũng đặt ra nhiều câu hỏi quan trọng chưa có trả lời:

(1) Tại sao vũ trụ nóng đến như vậy ở các giai đoạn đầu tiên?

(2) Vì sao vũ trụ đồng nhất như vậy ở kích thước lớn? Tại sao vũ trụ giống nhau ở mọi điểm của không gian và theo mọi hướng? Nói riêng, vì sao nhiệt độ của bức xạ phông lại có trị số bằng nhau theo mọi hướng? Tình huống tương tự như khi ta hỏi nhiều sinh viên một câu hỏi thi, nếu chúng trả lời giống nhau thì ta có thể tin rằng chúng đã trao đổi với nhau. Còn trong mô hình mô tả trên đây, từ Vụ nổ lớn ánh sáng không đủ thời gian để đi từ một vùng quá xa xôi đến một vùng khác, mặc dầu các vùng này vốn đã kề nhau trong giai đoạn sớm của vũ trụ. Theo thuyết tương đối, nếu ánh sáng không thể đi từ một vùng này đến vùng khác, thì không có thông tin nào đã được trao đổi. Như vậy các vùng khác nhau không thể có cùng một nhiệt độ, trừ khi chúng có cùng một nhiệt độ lúc ban đầu vì một lý do nào đó chưa giải thích được.

(3) Vì sao vũ trụ bắt đầu giãn nở với tốc độ gần tới hạn, tức là tốc độ ranh giới giữa mô hình co lại và mô hình giãn nở mãi, và ngay trong thời gian hiện tại, mười tỷ năm sau vẫn còn giãn nở với tốc độ tới hạn đó? Nếu như tốc độ giãn nở tại thời điểm một giây sau Vụ nổ lớn chỉ nhỏ hơn một phần trăm ngàn triệu triệu thì vũ trụ đã co lại trước khi bắt đầu đạt tới kích thước hiện nay.

(4). Mặc dầu vũ trụ đồng nhất xét ở kích thước lớn, vũ trụ vẫn chứa những vùng định xứ có mật độ vật chất cao hơn như các sao và thiên hà. Người ta cho rằng các sao và thiên hà được hình thành do sự khác nhau về

mật độ của các vùng ngay trong các giai đoạn sớm của vũ trụ. Vậy nguồn gốc của các thăng giáng mật độ đó là ở đâu?

Lý thuyết tương đối, xét độc lập, không thể giải thích được các điểm trên và đưa ra các câu trả lời cho những câu hỏi vừa đặt ra vì lý thuyết tương đối đoán nhận rằng vũ trụ được khởi đầu với một mật độ vô hạn tại điểm kỳ dị Vụ nổ lớn. Tại điểm kỳ dị đó, thuyết tương đối rộng và các định luật vật lý khác không còn đúng nữa: người ta không thể tiên đoán điều gì sẽ xuất hiện từ điểm kỳ dị đó. Như đã giải thích trước đây, điều đó có nghĩa rằng ta có thể tách rời Vụ nổ lớn và các sự kiện trước nó ra khỏi lý thuyết vì chúng không thể tác động lên những gì chúng ta quan sát được. Không-thời gian cần phải có biên – đó là điểm bắt đầu từ Vụ nổ lớn.

Khoa học dường như đã tìm ra các định luật cho phép, trong những giới hạn xác định bởi hệ thức bất định, tiên đoán được sự phát triển của vũ trụ nếu ta biết được trạng thái của nó tại một thời điểm. Những định luật đó có thể là do Chúa ban hành, nhưng hình như sau đó Chúa đã để cho vũ trụ tự phát triển và không buồn can thiệp vào nữa. Nhưng Chúa đã chọn điều kiện ban đầu hoặc cấu hình của vũ trụ như thế nào? "Điều kiện biên" tại điểm bắt đầu của thời gian là điều kiện gì?

Một câu trả lời khả dĩ là cho rằng Chúa đã chọn cấu hình ban đầu của vũ trụ theo những lý lẽ mà chúng ta không có hy vọng hiểu được. Điều đó hoàn toàn trong quyền lực của một đấng toàn năng, song nếu ông ta đã bắt đầu theo một

kiểu khó hiểu như vậy, thì tại sao ông ta lại để cho vũ trụ phát triển theo những quy luật mà chúng ta lại có thể hiểu được? Toàn bộ lịch sử khoa học là một quá trình tiệm cận đến nhận thức được rằng các sự kiện không phát triển một cách ngẫu nhiên, mà chúng phản ánh một trật tự tiềm ẩn nào đó có hoặc không có nguồn gốc thần thánh. Ta có thể giả định một cách tự nhiên rằng trật tự đó không những được áp dụng vào các định luật mà cả vào các điều kiện biên ban đầu của không-thời gian nữa. Có thể có rất nhiều mô hình vũ trụ với các điều kiện biên ban đầu khác nhau. Chúng ta phải đưa ra được một nguyên tắc nào đó để chọn ra một trạng thái ban đầu, và từ đó chọn ra một mô hình để mô tả vũ trụ.

Một khả năng là chọn cái gọi là điều kiện biên hỗn độn (chaotic). Điều kiện này giả định hoặc vũ trụ là vô hạn trong không gian hoặc tồn tại vô số vũ trụ. Theo điều kiện biên hỗn độn, xác suất tìm thấy một vùng không gian bất kỳ trong một cấu hình cho trước bất kỳ ngay sau vụ nổ lớn là bằng nhau: trạng thái ban đầu của vũ trụ được chọn một cách hoàn toàn ngẫu nhiên. Điều đó có nghĩa là vũ trụ trước đây có nhiều khả năng là vô trật tự vì rằng đối với vũ trụ tồn tại nhiều cấu hình hỗn độn và vô trật tự hơn là các cấu hình đều đặn và trật tự. (Nếu mỗi cấu hình có xác suất bằng nhau thì vũ trụ phải xuất phát từ một trạng thái hỗn độn, vô trật tự vì một lý do đơn giản là tồn tại quá nhiều trạng thái như vậy). Rất khó hình dung được vì sao những trạng thái hỗn độn ban đầu lại có thể dẫn đến một vũ trụ đều đặn, trật tự ở kích thước lớn như vũ trụ hiện nay. Người ta cũng bắt buộc phải nghĩ rằng những thăng giáng mật độ trong một mô hình như thế

nhất định phải dẫn đến sự hình thành một số lượng lỗ đen nguyên thủy lớn hơn cận trên thu được từ các quan trắc phông tia gamma.

Nếu vũ trụ thực sự là vô hạn trong không gian, hoặc nếu tồn tại vô số vũ trụ, thì phải tồn tại ở đâu đó nhiều vùng lớn đã trở nên đồng nhất. Tình huống này giống như lúc có một đàn khỉ rất đông gõ máy chữ – phần lớn những điều chúng gõ ra là vô nghĩa, nhưng cũng không loại trừ có xác suất là chúng thu được một bài thơ ngắn của Shakespear. Tương tự như vậy, trong trường hợp vũ trụ, cũng có thể chúng ta ngẫu nhiên sống trong một vùng đồng nhất như thế chăng? Thoạt nghĩ có thể điều đó có quá ít xác suất vì những vùng hỗn độn và vô trật tự là quá nhiều so với những vùng đồng nhất. Song hãy giả định rằng chỉ trong những vùng đồng nhất mới tồn tại những thiên hà và các sao, ở đấy có những điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của những sinh vật phức tạp có khả năng sinh sản như chúng ta, những người có khả năng đặt câu nghi vấn: Tại sao vũ trụ lại đồng nhất như thế? Đây là một ví dụ về ứng dụng cái gọi là nguyên lý vị nhân (anthropic) được phát biểu như sau: "Chúng ta nhìn thấy vũ trụ như vậy bởi vì chúng ta tồn tại".

Có hai cách diễn dịch nguyên lý vị nhân: nguyên lý yếu và nguyên lý mạnh. Nguyên lý vị nhân yếu khẳng định rằng trong vũ trụ vô hạn trong không gian và/hoặc trong thời gian, điều kiện thuận lợi cho sự nảy sinh một dạng sống có trí tuệ chỉ xuất hiện ở một số vùng nhất định hữu hạn trong không gian và thời gian. Những sinh vật có trí tuệ trong những vùng đó sẽ không ngạc nhiên nếu chúng nhận thấy rằng địa phương của chúng trong vũ trụ thoả mãn các điều kiện cần thiết cho

sự sống của chúng. Tình huống tương tự như lúc một người giàu có sống trong môi trường nhung lụa không thấy được cảnh bần cùng chung quanh.

Một ví dụ ứng dụng nguyên lý vị nhân yếu là "giải thích" vì sao vụ nổ lớn đã xảy ra gần mười tỷ năm về trước thì cũng cần ngần ấy thời gian cho sự tiến hóa của sinh vật có trí tuệ. Như trước đây đã nói, đầu tiên một thế hệ sớm các sao được hình thành. Các sao này biến một số hydro và heli nguyên thủy thành cacbon và oxy vốn là các thành phần cơ thể của chúng ta. Các sao này lại nổ thành các sao siêu mới, và các mảnh vỡ tàn dư lại hợp thành các sao và hành tinh khác, trong số này có Thái dương hệ của chúng ta đã tồn tại khoảng năm tỷ năm. Trong một hoặc hai tỷ năm đầu tiên của Trái đất, nhiệt độ quá cao vì thế các cấu trúc phức tạp không hình thành được. Trong ba tỷ năm còn lại, quá trình tiến hóa sinh học chậm chạp đã dẫn đến sự hình thành từ những cơ thể đơn giản nhất đến các sinh vật có khả năng đo được thời gian ngược trở về tới vụ nổ lớn.

Một số ít người đặt nghi vấn về sự đúng đắn và ích lợi của nguyên lý vị nhân yếu. Tuy nhiên, một số người còn đi xa hơn và đề nghị nguyên lý vị nhân mạnh. Theo nguyên lý này, tồn tại hoặc nhiều vũ trụ khác nhau hoặc nhiều vùng khác nhau của một vũ trụ duy nhất, mỗi một vũ trụ hoặc một vùng như thế có cấu hình ban đầu riêng và có thể, có một tổ hợp riêng các định luật khoa học. Trong đa số các vũ trụ đó, điều kiện không thuận lợi cho sự phát triển của những cơ thể phức tạp; chỉ có một vài vũ trụ như vũ trụ của chúng ta là có điều kiện cho sự phát triển của những sinh vật có trí tuệ đủ khả năng để đặt ra câu hỏi: vì sao vũ trụ phải giống như ta quan sát

được? Câu trả lời bây giờ sẽ trở nên đơn giản: nếu vũ trụ khác đi thì chúng ta sẽ không thể tồn tại ở đây được!

Các định luật khoa học, trong dạng mà chúng ta nhận thức như hiện nay, chứa nhiều hằng số cơ bản ví dụ như điện tích của êlectron và tỷ số khối lượng của prôtôn và của êlectron. Chúng ta không thể, ít nhất là trong điều kiện hiện nay, tính được giá trị của những hằng số đó từ lý thuyết – chúng ta chỉ thu được các trị số đó bằng thực nghiệm. Có lẽ một ngày nào đó chúng ta sẽ tìm được một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh có khả năng tính được mọi hằng số, song cũng rất có thể rằng một số hoặc tất cả các hằng số đó lại biến thiên từ vũ trụ này sang vũ trụ khác hoặc ngay trong một vũ trụ. Điều đáng chú ý là trị số của những hằng số đó dường như đã được điều chỉnh một cách tinh tế sao cho sự sống có thể nảy sinh và phát triển được. Ví dụ nếu điện tích êlectron chỉ khác đi một tý thôi thì các sao hoặc không thể đốt cháy hydrô và heli hoặc khác đi chúng không thể nổ thành sao siêu mới được. Lẽ dĩ nhiên có thể tồn tại những dạng sống khác, mà thậm chí các nhà văn viễn tưởng cũng không sáng tạo nổi, những dạng sống không cần đến cả ánh sáng của các sao như Mặt trời hoặc các nguyên tố hóa học nặng hơn được tạo thành trong các sao và bị bắn vào không gian khi sao nổ. Có lẽ cũng dễ hiểu là miền xác định của các hằng số đó không thể rộng được nếu các hằng số đó phải phù hợp với sự phát triển của cuộc sống có trí tuệ. Đa số các tập giá trị của các hằng số dẫn đến sự hình thành những vũ trụ mặc dầu rất đẹp, song không phù hợp cho sự phát triển của sinh vật có khả năng chiêm ngưỡng vẻ đẹp đó. Chúng ta có thể đoán nhận hoặc điều đó là sự chứng minh cho mục đích thiêng

liêng của Chúa trong sự sáng tạo và sự lựa chọn các định luật khoa học hoặc điều đó là sự chứng minh cho nguyên lý vị nhân mạnh. Có một số ý kiến người ta có thể đưa ra để phản đối lại ý kiến cho rằng nguyên lý vị nhân mạnh có thể giải thích trạng thái quan sát được của vũ trụ. Thứ nhất, ta phải hiểu sự tồn tại của nhiều vũ trụ khác như thế nào đây? Nếu quả thực chúng tách riêng xa nhau, thì những điều xảy ra trong một vũ trụ khác sẽ không gây một hệ quả nào quan sát được trong vũ trụ chúng ta. Vì vậy chúng ta phải sử dụng nguyên lý tiết kiệm để cắt bỏ chúng khỏi lý thuyết của chúng ta. Nếu, mặt khác, tồn tại nhiều vùng khác nhau của cùng một vũ trụ, thì các định luật khoa học phải là chung cho tất cả các vùng, vì trái lại thì chúng ta không thể chuyển động liên tục từ một vùng này sang vùng khác. Trong trường hợp đó thì sự khác biệt giữa các vùng quy về sự khác biệt của các cấu hình ban đầu và như thế nguyên lý vị nhân mạnh lại quy về nguyên lý vị nhân yếu. Ý kiến phản đối thứ hai cho là nguyên lý này đi ngược lại dòng chảy của lịch sử khoa học. Chúng ta đã đi từ mô hình vũ trụ xem quả đất là trung tâm của Ptolemy và các tiền bối qua mô hình Mặt trời là trung tâm của Copernicus và Galileo đến mô hình hiện đại trong đó quả đất chỉ là hành tinh kích thước vừa phải quay quanh một sao trung bình trong vùng biên của một thiên hà xoắn ốc bình thường vốn chỉ là một trong triệu triệu thiên hà của vũ trụ quan sát được. Nguyên lý vị nhân mạnh lại có tham vọng cho rằng toàn bộ kiến trúc khổng lồ đó tồn tại chỉ vì con người. Điều đó quả thật là khó tin. Chắc chắn rằng Thái dương hệ là một tiền đề cho cuộc sống của chúng ta, và chúng ta cũng có thể ngoại suy ý nghĩ đó cho toàn thiên hà của chúng ta để cho

phép sự tồn tại các thế hệ sao trước đã tạo nên những nguyên tố nặng hơn. Song dường như không có một sự cần thiết nào buộc các thiên hà khác và cho vũ trụ phải đồng nhất và giống nhau theo mọi phương hướng ở kích thước lớn.

Chúng ta sẽ cảm thấy yên tâm hơn với nguyên lý vị nhân, ít nhất ở phương án yếu, nếu chúng ta có thể chứng minh rằng nhiều cấu hình ban đầu khác nhau của vũ trụ sẽ tiến triển để tạo một vũ trụ giống như vũ trụ đang quan sát được. Nếu quả như vậy, thì một vũ trụ thoát thai từ những điều kiện hỗn độn ban đầu sẽ chứa một vùng đồng nhất, đều đặn thích hợp cho sự nảy sinh cuộc sống trí tuệ. Mặt khác, nếu trạng thái ban đầu đã được chọn tuyệt đối cẩn thận để được một vũ trụ mà chúng ta thấy chung quanh, thì vũ trụ đó chắc có ít xác suất chứa một vùng *nào đó* trong đó sự sống có thể xuất hiện. Trong mô hình nóng của vụ nổ lớn mô tả trước đây, chúng ta đã thấy ở giai đoạn sớm của vũ trụ, nhiệt lượng không đủ thời gian để chảy từ vùng này sang vùng khác. Điều đó có nghĩa rằng trạng thái ban đầu của vũ trụ phải có cùng một nhiệt độ ở mọi nơi, có như thế thì ta mới quan sát được hiện tượng bức xạ phông có cùng một nhiệt độ ở mọi nơi theo mọi hướng. Tốc độ giãn nở ban đầu cũng phải được chọn rất chính xác thì tốc độ giãn nở hiện nay mới tiếp tục xấp xỉ tốc độ tới hạn cần thiết để tránh quá trình co lại. Điều đó có nghĩa rằng trạng thái ban đầu của vũ trụ phải được chọn rất cẩn thận nếu mô hình nóng của vụ nổ lớn là đúng ngược mãi tận tới điểm ban đầu của thời gian. Rất khó giải thích vì sao vũ trụ được bắt đầu như vậy, trừ khi cho rằng đây là hành động của Chúa muốn tạo nên những sinh vật như chúng ta.

Với ý đồ tìm một mô hình của vũ trụ, trong đó nhiều cấu hình ban đầu khác nhau có thể tiến triển đến một vũ trụ như hiện tại, một nhà khoa học công tác tại Viện Công nghệ Massachusetts là Alan Guth đã đưa ra gợi ý trong các giai đoạn sớm vũ trụ đã trải qua một thời kỳ giãn nở cực nhanh. Thời kỳ giãn nở cực nhanh này được gọi là thời kỳ "lạm phát", với ý nghĩa rằng trong thời kỳ đó vũ trụ đã giãn nở với tốc độ tăng dần chứ không phải giảm dần như hiện tại. Theo Guth, bán kính của vũ trụ đã tăng vọt lên triệu triệu triệu triệu triệu (1 với ba mươi con số không) lần trong chỉ một phần rất nhỏ của giây.

Guth gợi ý rằng vũ trụ đã bắt đầu từ một vụ nổ lớn, từ một trạng thái rất nóng, nhưng khá hỗn độn. Các nhiệt độ cao này làm cho các hạt trong vũ trụ chuyển động rất nhanh và có năng lượng rất lớn. Như đã nói ở trên, tại những nhiệt độ cao như vậy các lực tương tác mạnh, yếu và điện từ hợp nhất thành một lực duy nhất. Trong quá trình giãn nở, vũ trụ lạnh dần, năng lượng các hạt giảm đi. Có thể xảy ra quá trình gọi là chuyển pha và đối xứng giữa các lực bị phá vỡ: lực tương tác mạnh trở nên khác biệt với các lực tương tác yếu và điện từ. Một ví dụ thông thường của quá trình chuyển pha là quá trình nước đóng băng khi nhiệt độ hạ thấp. Nước lỏng có đối xứng giống nhau ở mọi điểm và theo mọi hướng. Song khi các tinh thể băng hình thành, chúng sẽ chiếm những vị trí nhất định và xếp thành hàng theo một hướng nào đó. Điều này phá vỡ đối xứng của nước ở trạng thái lỏng.

Trong trường hợp nước, nếu cẩn thận chúng ta có thể làm "siêu lạnh" nước, điều đó có nghĩa là chúng ta có thể đưa nhiệt độ xuống dưới nhiệt độ đóng băng (0^0C) mà băng vẫn

chưa xuất hiện. Guth gợi ý rằng điều đó cũng có thể xảy ra đối với vũ trụ: nhiệt độ giảm xuống dưới trị số giới hạn mà đối xứng giữa các lực vẫn chưa bị phá vỡ. Nếu điều đó xảy ra, vũ trụ sẽ rơi vào một trạng thái không ổn định, với năng lượng lớn hơn năng lượng ứng với lúc đối xứng bị phá vỡ. Có thể chứng minh rằng năng lượng dôi này sẽ gây ra hiệu ứng phản hấp dẫn: nó có tác động như hằng số vũ trụ mà Einstein đã đưa vào trong lý thuyết tương đối rộng khi ông muốn xây dựng một mô hình tĩnh của vũ trụ. Vì vũ trụ đã giãn nở giống như trong mô hình nóng của vụ nổ lớn, cho nên hiệu ứng đẩy của hằng số vũ trụ này làm cho vũ trụ giãn nở với vận tốc luôn tăng. Ngay cả trong những vùng với mật độ hạt lớn hơn trung bình, hiệu ứng phản hấp dẫn gây ra bởi hằng số vũ trụ đó cũng vượt quá hấp dẫn. Do đó các vùng này phải giãn nở theo quy luật gia tăng lạm phát. Trong quá trình giãn nở, các vùng đó và các hạt vật chất sẽ đi xa nhau và ta có được một vũ trụ giãn nở với mật độ hạt nhỏ và hiện nằm trong trạng thái siêu lạnh. Mọi điểm bất thường trong vũ trụ sẽ bị là bằng cho đều do quá trình giãn nở, tương tự như những nếp nhăn của một quả bóng bay sẽ biến mất dần khi ta thổi không khí vào. Như vậy, trạng thái đồng nhất và đều đặn hiện nay của vũ trụ có thể đạt được trong quá trình tiến triển từ nhiều trạng thái ban đầu không đồng nhất khác nhau.

Trong một vũ trụ như thế, quá trình giãn nở được gia tốc bởi hằng số vũ trụ và không bị hãm dần bởi lực hấp dẫn của vật chất, ánh sáng có đủ thời gian để thực hiện hành trình từ vùng này sang vùng khác trong các giai đoạn sớm của vũ trụ. Tình huống này có thể đưa ra lời giải cho bài toán nêu

ra trước đây: vì sao các vùng khác nhau của vũ trụ có cùng những tính chất giống nhau. Ngoài ra, vận tốc giãn nở của vũ trụ sẽ tự động trở nên xấp xỉ vận tốc giới hạn xác định bởi mật độ trong vũ trụ. Điều này có thể giải thích câu hỏi vì sao vận tốc giãn nở của vũ trụ vẫn gần vận tốc giới hạn, mà không cần giả định rằng vận tốc giãn nở ban đầu của vũ trụ đã được lựa chọn một cách cẩn thận.

Ý niệm về lạm phát cũng giúp ta giải thích được vì sao có nhiều vật chất như vậy trong vũ trụ. Có chừng mười triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu triệu (1 với tám mươi số không) hạt trong vùng không gian mà chúng ta có thể quan sát được. Chúng từ đâu đến? Theo thuyết lượng tử các hạt đó được sinh ra từ năng lượng trong cặp hạt/phản hạt. Song bây giờ lại đến câu hỏi, năng lượng đó từ đâu ra? Câu trả lời là năng lượng toàn phần của vũ trụ chính xác bằng không. Vật chất trong vũ trụ được cấu tạo từ năng lượng dương. Song vật chất lại hút nhau vì hấp dẫn. Hai lượng vật chất gần nhau có ít năng lượng hơn là khi chúng xa nhau, bởi vì chúng ta phải sản ra năng lượng để kéo chúng ra xa chống lại lực hấp dẫn đang kéo chúng lại gần nhau. Như thế trong một ý nghĩa nhất định, trường hấp dẫn có năng lượng âm. Trong trường hợp của một vũ trụ gần đồng nhất trong không gian, người ta có thể chứng minh được rằng năng lượng hấp dẫn âm này sẽ triệt tiêu năng lượng dương của vật chất. Như thế năng lượng toàn phần của vũ trụ bằng không.

Hai lần không vẫn là không. Cho nên vũ trụ có thể tăng gấp đôi năng lượng dương của vật chất và đồng thời tăng gấp đôi năng lượng âm của hấp dẫn mà vẫn không vi phạm định

luật bảo toàn năng lượng. Điều này không thể xảy ra trong một quá trình giãn nở bình thường của vũ trụ, trong đó mật độ năng lượng vật chất giảm đi khi vũ trụ trở nên lớn hơn. Song điều đó có thể xảy ra trong một quá trình giãn nở lạm phát bởi vì mật độ năng lượng của trạng thái siêu lạnh vẫn không thay đổi khi vũ trụ giãn nở: khi kích thước vũ trụ tăng gấp đôi, năng lượng dương của vật chất và năng lượng âm của hấp dẫn cũng tăng gấp đôi do đó năng lượng toàn phần vẫn bằng không. Trong pha lạm phát, kích thước của vũ trụ tăng lên rất nhiều. Như thế toàn phần năng lượng hiện hữu để tạo ra các hạt trở nên rất lớn. Như Guth đã nhận xét: "Người ta thường nói không có chuyện ăn không mất tiền, nhưng vũ trụ là bữa ăn không mất tiền tối hậu".

Vũ trụ hiện nay không giãn nở theo quy luật lạm phát. Như thế phải tồn tại một cơ chế có khả năng loại bỏ hằng số vũ trụ hiệu dụng quá lớn và như vậy biến vận tốc giãn nở từ quá trình gia tốc về quá trình chậm dần vì hấp dẫn như hiện nay. Trong giai đoạn lạm phát có thể đối xứng giữa các lực bị phá vỡ, tương tự nước siêu lạnh rồi cuối cùng cũng phải đông lại. Năng lượng dôi ra của đối xứng bị phá vỡ thoát ra và hâm nóng vũ trụ đến một nhiệt độ vừa đúng dưới nhiệt độ tới hạn ứng với đối xứng giữa các lực. Vũ trụ tiếp tục giãn nở và lạnh dần đúng như mô hình nóng của vụ nổ lớn, song bây giờ ta lại cần giải thích tại sao vũ trụ giãn nở với vận tốc tới hạn và vì sao các vùng khác nhau có cùng một nhiệt độ.

Trong lý thuyết ban đầu của Guth, quá trình chuyển pha được giả định là xẩy ra đột ngột, tương tự như các tinh thể băng trong nước thật lạnh. Có thể nghĩ rằng các "bong bóng" của pha mới của đối xứng bị phá vỡ được hình thành trong

pha cũ, tương tự như các bong bóng hơi được bao bọc bởi nước đang sôi. Các bong bóng được giả định là giãn nở và gặp nhau cho đến khi toàn vũ trụ rơi vào pha mới. Một khó khăn, mà tôi cùng nhiều người khác đã chỉ ra là vũ trụ giãn nở quá nhanh cho dẫu rằng các bong bóng lớn lên bằng tốc độ ánh sáng, chúng cũng sẽ chuyển động xa nhau ra và không kịp gặp để nhập với nhau. Như vậy vũ trụ rơi vào trạng thái rất không đồng nhất, với một số vùng vẫn còn có đối xứng giữa các lực khác nhau. Một mô hình như thế không tương ứng với những điều ta quan sát được.

Tháng 10 năm 1981, tôi đến Matxcova tham dự hội thảo về hấp dẫn lượng tử. Sau hội thảo, tôi có làm một seminar về mẫu lạm phát và các vấn đề của mẫu đó tại Viện thiên văn Sternberg. Trước đây tôi thường nhờ một người khác đọc báo cáo thay tôi vì đa số không hiểu được giọng nói của tôi. Nhưng lúc này tôi không còn thì giờ chuẩn bị nên tôi tự đọc, và chỉ nhờ một nghiên cứu sinh của tôi phát lại những lời tôi nói. Phương thức này khá có kết quả và tạo được mối tiếp xúc với thính giả. Trong buổi seminar có một người Nga còn trẻ là Andrei Linde làm việc ở Viện Lebedev tại Matxcova. Linde cho rằng có thể tránh được khó khăn gắn liền với điều các bong bóng không nối với nhau, nếu ta cho rằng các bong bóng lớn tới mức mà vùng vũ trụ của ta nằm trọn trong một bong bóng. Để giả thuyết được hợp lý thì sự phá vỡ đối xứng phải xảy ra rất chậm trong bong bóng và điều này là hoàn toàn khả dĩ trên cơ sở các lý thuyết thống nhất lớn. Ý tưởng của Linde về một quá trình phá vỡ đối xứng chậm là rất hấp dẫn, song sau này tôi hiểu rằng những bong bóng của Linde phải lớn hơn kích thước của vũ trụ vào lúc đó. Tôi đã chứng

minh rằng đối xứng bị phá vỡ khắp mọi nơi chứ không phải trong lòng các bong bóng. Điều này sẽ dẫn đến một vũ trụ đồng nhất, đúng như ta quan sát. Tôi rất tâm đắc với ý tưởng này và cùng bàn luận với một sinh viên của tôi là Ian Moss. Với tư cách là một người bạn của Linde, tôi hơi bối rối khi sau này nhận được bài báo của Linde do một tạp chí khoa học gửi đến hỏi ý kiến liệu bài báo có thể công bố hay không. Tôi đã trả lời rằng còn điểm yếu về các bong bóng lớn hơn vũ trụ, song ý tưởng cơ bản về quá trình phá vỡ đối xứng chậm là rất hay. Tôi có khuyến nghị cho đăng bài báo vì tôi nghĩ rằng nếu không Linde sẽ mất rất nhiều tháng để sửa chữa lại, bởi vì mọi tài liệu mà ông ta gửi sang phương Tây phải được thông báo qua kiểm duyệt của Liên Xô (cũ), vốn không am hiểu lắm và cũng không mau mắn gì đối với những bài báo khoa học. Tôi có viết cùng với Ian Moss một bài báo ngắn gửi đăng cùng số báo, trong đó chúng tôi đặt lại vấn đề các bong bóng và chỉ ra cách giải quyết vấn đề.

Vừa từ Matxcơva trở về, hôm sau tôi đã bay tới Philadenphia để nhận huy chương của Viện Franklin. Cô thư ký của tôi là Judy Fella đã sử dụng sắc đẹp duyên dáng của mình để thuyết phục hãng British Airways cấp cho cô ta và tôi hai vé máy bay không mất tiền xem như một hợp đồng quảng cáo cho hãng. Tiếc rằng tôi đến sân bay chậm vì mưa to và lỡ chuyến máy bay. Nhưng rồi tôi cũng đến được Philadenphia để nhận huy chương dành cho tôi. Người ta yêu cầu tôi làm một seminar về mẫu lạm phát của vũ trụ tại Trường Đại học Drexel ở Philadenphia.Và tôi đã báo cáo về các vấn đề giãn nở lạm phát của vũ trụ, tương tự như ở Matxcơva.

Một ý tưởng gần giống của Linde cũng được phát triển độc lập sau đó vài tháng bởi Paul Steinhardt và Andreas Albrecht tại trường Đại học Pensylvania. Bây giờ họ cùng với Linde có vinh dự chung vì đã đưa ra "mô hình lạm phát mới", dựa trên ý tưởng về một quá trình phá vỡ đối xứng chậm. (Mô hình lạm phát cũ là dựa trên ý tưởng ban đầu của Guth về một quá trình phá vỡ đối xứng nhanh kèm theo sự hình thành các bong bóng).

Mô hình lạm phát mới là một mô hình tốt nhằm giải thích vì sao vũ trụ lại có dạng như hiện nay. Song, nhiều người khác và tôi đã chứng minh rằng mô hình đó, ít nhất là trong phương án ban đầu, đã dẫn đến những thay đổi về nhiệt độ của bức xạ phông lớn hơn nhiều so với các quan trắc thu được. Các phương án sau cũng gây ra mối nghi ngờ. Liệu có tồn tại một quá trình chuyển pha kiểu như vậy ở giai đoạn rất sớm của vũ trụ hay không. Theo ý kiến của riêng tôi, thì mô hình lạm phát mới này bây giờ cũng đã chết như một lý thuyết khoa học, mặc dầu cũng còn một số người dường như chưa nghe biết và vẫn tiếp tục viết về mô hình đó.

Một mô hình hay hơn có tên là mô hình lạm phát hỗn độn đã được phát triển cũng bởi Linde vào năm 1983. Trong mô hình này, không tồn tại quá trình chuyển pha hoặc trạng thái siêu lạnh. Thay vào đó, có một trường spin 0, trường này có thể có những trị số lớn ở một vài vùng của vũ trụ giai đoạn sớm, do sự tồn tại của những thăng giáng lượng tử. Năng lượng của trường này trong những vùng đó đóng vai trò như một hằng số vũ trụ. Năng lượng này gây ra tác dụng đẩy và làm cho các vùng đó giãn nở một cách lạm phát. Trong quá trình giãn nở, năng lượng của trường ở các vùng đó giảm

chậm cho đến khi quá trình giãn nở lạm phát trở thành một quá trình giãn nở tương tự như trong mô hình nóng của vụ nổ lớn. Một trong những vùng đó sẽ trở thành vũ trụ mà chúng ta hiện nay quan sát được. Mô hình này có mọi ưu điểm của các mô hình lạm phát cũ, song không phụ thuộc vào một quá trình chuyển pha đáng ngờ, và lại cho những thăng giáng nhiệt độ của bức xạ vi ba phông hợp lý và phù hợp với các quan trắc.

Các nghiên cứu về những mô hình lạm phát chỉ ra rằng hiện trạng của vũ trụ có thể được thoát thai từ một số rất lớn các cấu hình ban đầu. Điều này quan trọng, vì cho ta thấy trạng thái ban đầu của phần vũ trụ trong đó ta sinh sống không cần được chọn một cách quá xác định. Vì vậy chúng ta có thể, nếu muốn, sử dụng nguyên lý vị nhân yếu để giải thích vì sao vũ trụ lại có dạng như ngày nay. Song cũng không phải *mọi* cấu hình ban đầu đều sẽ dẫn đến vũ trụ giống như vũ trụ ta quan sát. Ta có thể chứng minh điều đó bằng cách xét một trạng thái rất khác trạng thái vũ trụ ngày nay, ví dụ, một trạng thái rất không đồng nhất. Ta có thể sử dụng các định luật khoa học để đi ngược lại thời gian tìm các cấu hình sớm trước đây của vũ trụ. Theo các định lý về kỳ dị của lý thuyết tương đối rộng, thì tồn tại một kỳ dị của vụ nổ lớn. Nếu ta lại cho vũ trụ tiến triển về phía trước theo thời gian thì chúng ta sẽ thu được một vũ trụ không đồng nhất mà từ đó chúng ta đã xuất phát. Như thế tồn tại những cấu hình ban đầu có khả năng dẫn đến một vũ trụ không giống vũ trụ ta quan sát hiện nay. Như thế, mô hình lạm phát cũng không nói được tại sao các cấu hình ban đầu lại không là những cấu hình có khả năng dẫn đến

những vũ trụ rất khác với vũ trụ quan sát được hiện nay. Ta phải cầu cứu đến nguyên lý vị nhân để giải thích điều đó hay sao? Có phải đây đúng là một ngẫu nhiên may mắn? Điều này có vẻ như là một lời tuyệt vọng, một phủ định mọi hy vọng của chúng ta về khả năng hiểu được cái trật tự sâu kín của vũ trụ chúng ta.

Để hiểu được vũ trụ đã bắt đầu như thế nào, chúng ta cần những định luật đúng đắn ở điểm xuất phát của thời gian. Nếu quả thật thuyết tương đối rộng cổ điển đúng đắn, thì các định lý về kỳ dị mà Roger Penrose và tôi đã thiết lập chỉ rằng xuất phát điểm của thời gian là một điểm với mật độ và độ cong không-thời gian vô cùng lớn. Và mọi định luật đã biết của khoa học đều không còn tác dụng tại một điểm như vậy. Người ta có thể giả định rằng tồn tại những định luật mới, đúng đắn tại cả các điểm kỳ dị, song rất khó mà phát biểu ra những định luật như thế tại các điểm có dáng điệu kỳ dị như vậy, và chúng ta cũng không có một sự hướng dẫn nào từ các quan trắc khả dĩ giúp ta hình dung được các định luật đó. Song các định lý về kỳ dị thực tế đã chỉ ra được rằng trường hấp dẫn trở nên mạnh đến nỗi các hiệu ứng lượng tử trở thành quan trọng: lý thuyết cổ điển không còn khả năng mô tả vũ trụ được nữa. Vậy chúng ta phải sử dụng lý thuyết hấp dẫn lượng tử khi bàn luận đến các giai đoạn sớm của vũ trụ. Như chúng ta sẽ thấy, có thể trong lý thuyết lượng tử các định luật khoa học thông thường lại trở nên đúng đắn mọi nơi kể cả tại xuất phát điểm của thời gian: không cần thiết phải phát biểu những định luật mới đối với các điểm kỳ dị, bởi vì rằng không cần có các điểm kỳ dị trong lý thuyết lượng tử.

Hiện nay chúng ta chưa có một lý thuyết hoàn chỉnh và tương hợp để tổng hợp cơ học lượng tử và hấp dẫn. Song chúng ta có thể chắc chắn về một vài yếu tố mà một thuyết thống nhất như vậy phải có. Một trong những yếu tố đó là sự cần thiết đưa vào ý tưởng của Feynman để trình bày lý thuyết lượng tử dưới dạng các tích phân theo lịch sử quỹ đạo. Trong cách tiếp cận đó, một hạt không có một lịch sử đơn chiếc như trong lý thuyết cổ điển. Thay vì, hạt có thể chuyển động theo mọi quỹ đạo khả dĩ trong không-thời gian, và ứng với mỗi lịch sử chuyển động ta có một cặp số, trong đó số thứ nhất mô tả biên độ của sóng còn số thứ hai mô tả vị trí trong chu kỳ tức là pha. Xác suất để hạt, ví dụ, đi qua một điểm nhất định nào đó, sẽ thu được bằng cách cộng tất cả các sóng ứng với mọi lịch sử khả dĩ đi qua điểm đó. Khi chúng ta tìm cách thực hiện phép cộng đó, chúng ta gặp phải nhiều vấn đề kỹ thuật. Một thủ thuật để giải quyết là dùng phương thức sau: cộng các sóng lịch sử đó không phải trong thời gian "thực" trong đó chúng ta sống mà trong cái gọi là thời gian "ảo". Thời gian ảo mới nghe tưởng như đó là chuyện khoa học viễn tưởng nhưng thực tế thời gian ảo lại là một khái niệm toán học rất xác định. Nếu chúng ta lấy một số thực và nhân với chính nó thì kết quả là một số dương (ví dụ, 2 nhân với 2 là 4, cũng như -2 nhân với -2 là 4). Song ngoài số thực, tồn tại những số đặc biệt (gọi là số ảo), khi nhân với chính nó, kết quả sẽ là một số âm (Số ảo i khi nhân với chính nó sẽ cho ta -1, số ảo 2i khi nhân với chính nó sẽ cho ta -4, và v.v.).

Ta có thể hình dung các số thực và ảo theo cách sau: các số thực có thể được biểu diễn bằng một đường thẳng từ trái sang phải, và số 0 đặt ở giữa, các số âm như -1, -2 ở bên trái

và các số dương 1, 2 ở bên phải. Trong khi đó các số ảo được biểu diễn trên một đường thẳng đứng, hướng từ dưới lên với i, 2i, v.v ở nửa trên và -i, -2i ở nửa dưới. Như vậy các số ảo theo một nghĩa nào đó là các con số lập một góc vuông đối với các số thực thông thường.

Để tránh các khó khăn về kỹ thuật tính toán lúc cộng các lịch sử theo Feynman, người ta đã sử dụng thời gian ảo. Nói rõ hơn, vì mục đích tính toán người ta phải đo thời gian bằng các số ảo, chứ không bằng những số thực. Thủ thuật này dẫn đến một hệ quả lý thú: sự khác biệt giữa không gian và thời gian sẽ biến mất hoàn toàn. Một không-thời gian trong đó các trị số đều có trị số ảo trên tọa độ thời gian gọi là không gian Euclid, theo tên của nhà toán học Hylạp, người đã sáng lập hình học các mặt hai chiều. Không-thời gian mà chúng ta gọi là Euclid là một không gian tương tự chỉ có khác là không-thời gian có bốn chiều chứ không phải là hai. Trong không-thời gian Euclid không có sự khác biệt giữa chiều thời gian và các chiều không gian. Còn trong không-thời gian thực, trong đó mọi sự cố được đánh dấu bởi những trị số thực theo trục thời gian, thì dễ dàng chỉ ra sự khác biệt giữa không gian và thời gian – chiều thời gian tại mọi điểm đều nằm trong nón ánh sáng và các chiều không gian thì nằm bên ngoài. Trong mọi trường hợp, khi xét cơ học lượng tử, chúng ta xem việc sử dụng thời gian ảo và không-thời gian Euclid như một thủ thuật toán học để tìm các câu trả lời cho không-thời gian thực.

Một yếu tố thứ hai, mà chúng tôi cho phải là thành phần trong lý thuyết tối hậu, là ý tưởng của Einstein cho rằng trường hấp dẫn phải được biểu diễn bởi không-thời gian

cong: các hạt sẽ chọn quỹ đạo ngắn nhất, tức một quỹ đạo gần với đường thẳng nhất trong không gian cong, song không-thời gian không phẳng cho nên quỹ đạo của các hạt sẽ bị cong, giống như chịu tác động của một trường hấp dẫn. Khi chúng ta áp dụng phương pháp cộng theo các lịch sử quỹ đạo của Feynman vào quan điểm Einstein về hấp dẫn, thì tương tự với lịch sử của một hạt bây giờ là một không-thời gian cong mô tả lịch sử của toàn vũ trụ. Để tránh các khó khăn về kỹ thuật trong lúc thực hiện phép cộng theo các lịch sử, các không-thời gian cong đó phải là Euclid, tức thời gian là ảo và không khác biệt với không gian. Để tính xác suất tìm thấy một không-thời gian thực với một tính chất xác định nào đó, ví dụ đồng nhất ở mọi điểm và theo mọi hướng, thì ta cần cộng các sóng gắn liền với tất cả các lịch sử vốn có tính chất đó.

Trong lý thuyết tương đối rộng cổ điển, tồn tại rất nhiều không-thời gian cong khác nhau khả dĩ, mỗi không-thời gian đó ứng với một trạng thái ban đầu của vũ trụ. Nếu chúng ta biết được trạng thái ban đầu của vũ trụ, chúng ta sẽ biết được toàn bộ lịch sử của nó. Tương tự như vậy, trong lý thuyết hấp dẫn lượng tử, tồn tại rất nhiều trạng thái lượng tử khác nhau khả dĩ cho vũ trụ. Và nếu chúng ta biết được dáng điệu của không-thời gian cong Euclid trong tổng theo lịch sử vào những giai đoạn sớm của vũ trụ, thì chúng ta cũng sẽ biết được trạng thái lượng tử của vũ trụ.

Trong lý thuyết hấp dẫn cổ điển, vốn dựa trên không-thời gian thực, chỉ có hai khả năng cho dáng điệu của vũ trụ: hoặc vũ trụ tồn tại vô hạn trong thời gian, hoặc vũ trụ đã bắt đầu ở một điểm kỳ dị và tại một thời điểm hữu hạn nào đó trong

quá khứ. Trong lý thuyết hấp dẫn lượng tử, còn có một khả năng thứ ba. Bởi vì chúng ta đang sử dụng không-thời gian Euclid, trong đó không có sự khác biệt giữa hướng thời gian và các hướng không gian, cho nên không-thời gian có thể là hữu hạn và không có điểm kỳ dị tạo nên biên. Không-thời gian sẽ có dạng tương tự như mặt quả đất, song có thêm hai chiều nữa. Mặt quả đất là hữu hạn song không có biên: nếu ta giương buồm đi về phía Mặt trời lặn, ta không rơi vào một biên hoặc một điểm kỳ dị nào (tôi biết như thế, bởi vì tôi đã đi vòng quanh thế giới).

Nếu không-thời gian Euclid kéo dài ngược vô tận theo thời gian ảo hoặc xuất phát từ một điểm kỳ dị trong thời gian ảo, thì chúng ta sẽ đối diện với bài toán tương tự như trong lý thuyết cổ điển là phải xác định trạng thái ban đầu của vũ trụ: Chúa có thể biết vũ trụ đã bắt đầu như thế nào, song chúng ta thì không có một lý do đặc biệt nào để nghĩ rằng vũ trụ đã bắt đầu như thế này chứ không phải thế khác. Mặt khác, lý thuyết hấp dẫn lượng tử đã mở ra một khả năng mới, theo đó không-thời gian không có biên và do đó không cần thiết xác định dáng điệu tại biên. Không có điểm kỳ dị mà tại đó các định luật khoa học không còn đúng; cũng không có điểm mút của không-thời gian, tại đó chúng ta phải cầu cứu đến Chúa hoặc đến một định luật mới nào đó để xác định các điều kiện biên của không-thời gian. Ta có thể nói: "Điều kiện biên của vũ trụ là không có biên". Vũ trụ là một hệ tự thân và không bị ảnh hưởng của bất cứ điều gì bên ngoài vũ trụ. Vũ trụ không sinh không diệt. Vũ trụ luôn tồn tại.

Tại cuộc hội thảo ở Vantican mà trước đây tôi đã nhắc đến, tôi đã đưa ra ý tưởng gợi ý không-thời gian cấu thành

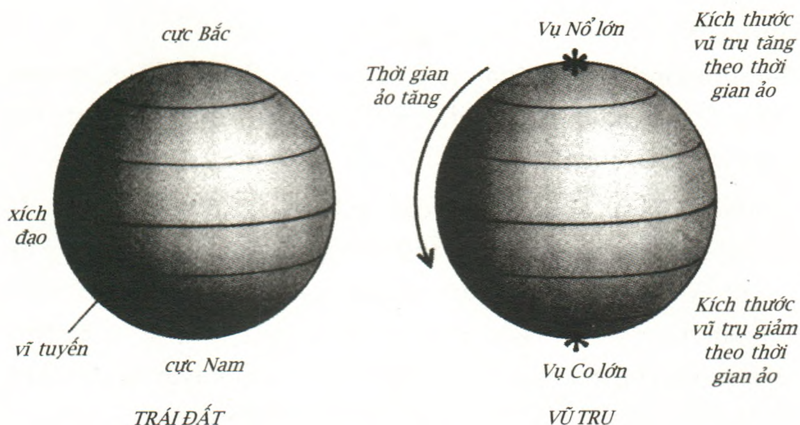
một mặt hữu hạn về kích thước và không có biên, không có điểm mút. Bài báo của tôi mang tính toán học, song cũng rõ là phủ nhận vai trò của Chúa trong việc sáng tạo ra vũ trụ và điều đó đã không được đông đảo chấp nhận ở thời gian đó. Trong thời gian hội thảo tôi không biết cách nào để sử dụng ý tưởng "không có biên" để đưa ra những đoán nhận về vũ trụ. Mùa hè năm sau tôi lưu lại trường đại học California ở Santa Barbara. Ở đấy tôi có một người bạn và cũng là đồng nghiệp là Jim Hartle, chúng tôi cùng phân tích xem nếu không-thời gian không có biên thì phải có những điều kiện gì cho vũ trụ. Khi trở về Cambridge, tôi tiếp tục công trình trên với hai nghiên cứu sinh là Julian Luttrel và Jonathan Halliwell.

Tôi muốn nhấn mạnh rằng ý tưởng về không-thời gian hữu hạn và không có biên chỉ là một *giả thiết*: giả thiết này không thể suy ra được từ một nguyên lý khác. Cũng tương tự như mọi lý thuyết khoa học khác, ta phải đưa ra một giả thiết ban đầu nào đó hoặc vì lý do thẩm mỹ hoặc vì lý do siêu hình, và sự đúng đắn của nó chỉ có thể kiểm nghiệm được bằng thực tế theo những hệ quả mà giả thiết đó dẫn đến. Song đối với trường hợp hấp dẫn lượng tử có khó khăn vì hai lý do. Thứ nhất, như sẽ được giải thích ở chương sau, chúng ta chưa biết chắc chắn về một lý thuyết có khả năng tổng hợp một cách có hiệu quả lý thuyết tương đối rộng và cơ học lượng tử mặc dầu chúng ta đã hình dung được những nét chính của một lý thuyết như vậy. Thứ hai, mọi mô hình mô tả toàn bộ vũ trụ về chi tiết phải rất phức tạp về mặt toán học, do đó chúng ta khó lòng tính toán được chính xác kết quả. Vì vậy

chúng ta phải đưa ra những giả thiết và những phép tính gần đúng nhằm làm đơn giản hóa, tuy nhiên thậm chí sau những phép đó, bài toán rút ra những tiên đoán vẫn còn là một bài toán rất khó khăn.

Mỗi lịch sử trong tổng các lịch sử sẽ mô tả không chỉ không-thời gian mà cả mọi thứ trong đó nữa, kể cả những cơ thể phức tạp như con người là sinh vật có khả năng quan sát lịch sử của vũ trụ. Điều này có thể cung cấp một lý do nữa biện minh cho nguyên lý vị nhân, vì nếu mọi lịch sử đều khả dĩ, thì một khi chúng ta cũng tồn tại ở một trong các lịch sử đó, chúng ta có thể sử dụng nguyên lý vị nhân để giải thích tại sao vũ trụ lại như nó hiện có. Còn ý nghĩa của những lịch sử khả dĩ khác, trong đó chúng ta không tồn tại thì quả là chúng ta không rõ được. Quan điểm này của lý thuyết hấp dẫn lượng tử sẽ mang tính chất thuyết phục hơn nếu chúng ta có thể chứng minh rằng khi lấy tổng theo các lịch sử, thì vũ trụ của chúng ta không phải chỉ là một trong số các lịch sử khả dĩ mà còn là một trong số các lịch sử có xác suất lớn nhất. Để làm điều đó, chúng ta phải lấy tổng theo các lịch sử đối với mọi không-thời gian Euclid khả dĩ và không có biên.

Dưới giả thiết không có biên, ta cho rằng khả năng mà vũ trụ tiến triển theo phần lớn các lịch sử khả dĩ là nhỏ không đáng kể, và tồn tại một lớp các lịch sử có xác suất lớn hơn các lịch sử khác. Các lịch sử này có thể được minh họa như mặt quả đất, trên mặt đó khoảng cách từ Cực Bắc biểu diễn thời gian ảo còn kích thước vòng tròn cách đều Cực Bắc biểu diễn kích thước của vũ trụ. Vũ trụ bắt đầu từ Cực Bắc như là một điểm đơn. Khi chúng ta chuyển động về phía Nam, các



Hình 8.1

đường tròn vĩ tuyến vốn cách đều Cực Bắc sẽ lớn dần lên, điều này tương ứng với quá trình giãn nở của vũ trụ trong thời gian ảo (Hình 8.1). Vũ trụ đạt kích thước cực đại tại đường xích đạo và sẽ co lại theo thời gian ảo về một điểm đơn tại Cực Nam. Mặc dù vũ trụ có kích thước bằng không tại hai Cực Nam và Bắc, những điểm này không phải là những điểm kỳ dị, các điểm khác cũng đều là những điểm bình thường. Các định luật khoa học đều đúng ở tất cả các điểm, kể cả ở Cực Bắc và Cực Nam.

Song lịch sử của vũ trụ theo thời gian thực sẽ rất khác. Vào thời điểm mười hoặc hai mươi tỷ năm về trước, vũ trụ có kích thước nhỏ nhất bằng bán kính cực đại trong lịch sử theo thời gian ảo. Ở các thời điểm muộn hơn, vũ trụ giãn nở theo mô hình lạm phát hỗn độn của Linde (song giờ đây chúng ta không cần phải giả định từ một trạng thái đúng đắn nào cả).

Vũ trụ sẽ giãn nở đến một kích thước rất lớn và có thể co lại về một điểm kỳ dị trong thời gian thực. Như thế, trong một ý nghĩa nào đó, chúng ta vẫn còn chưa hết trách nhiệm, dẫu có tránh xa các lỗ đen. Chỉ khi nào chúng ta có thể mô tả vũ trụ bằng thời gian ảo thì mới hết các điểm kỳ dị.

Nếu vũ trụ thực tế ở trong một trạng thái lượng tử như thế, thì sẽ không có kỳ dị trong lịch sử của vũ trụ theo thời gian ảo. Do đó dường như, công trình gần đây của tôi đã phá bỏ hoàn toàn các kết quả của công trình trước đây của tôi về kỳ dị. Song như đã nói trước đây, sự quan trọng thực sự của các định lý về kỳ dị là ở chỗ đã chứng minh được rằng trường hấp dẫn phải lớn đến nỗi các hiệu ứng lượng tử không thể nào bỏ qua được. Điều này lại dẫn đến ý tưởng cho rằng vũ trụ phải hữu hạn trong thời gian ảo song không có biên và điểm kỳ dị. Tuy nhiên, khi chúng ta đi ngược thời gian thực trong đó chúng ta sống thì lại xuất hiện các kỳ dị. Nhà du hành vũ trụ đáng thương nếu rơi vào một lỗ đen sẽ đi đến một kết cuộc bi thảm; chỉ lúc nhà du hành sống trong thời gian ảo thì mới không gặp phải các kỳ dị mà thôi.

Tình huống trên có thể gợi ý rằng cái gọi là thời gian ảo thực tế mới là thời gian thực, còn cái gọi là thời gian thực thì lại là sản phẩm của trí tưởng tượng của chúng ta. Trong thời gian thực, vũ trụ có một điểm ban đầu và một điểm cuối tại các kỳ dị là biên của không-thời gian, tại biên đó các định luật khoa học không còn đúng nữa. Song trong thời gian ảo thì không còn kỳ dị, không còn biên. Như thế rất có thể là cái mà ta gọi là thời gian ảo thì thực tế là cơ bản hơn, và cái mà ta gọi là thời gian thực thì chẳng qua chỉ là một ý niệm ta bày đặt ra để mô tả cái mà ta tưởng là vũ trụ. Nhưng theo cách

tiếp cận tôi trình bày ở Chương 1, thì một lý thuyết khoa học chỉ là mô hình toán học ta sáng tạo ra để mô tả các điều quan sát: mô hình đó chỉ tồn tại trong trí óc ta mà thôi. Vì vậy thật là vô nghĩa khi nêu ra câu hỏi: Thời gian "thực" và thời gian "ảo", cái nào thực hơn? Vấn đề là ở chỗ thời gian nào có ích hơn cho việc mô tả vũ trụ.

Chúng ta có thể sử dụng tổng các lịch sử kết hợp với giả thiết không có biên để tìm ra những tính chất nào của vũ trụ có nhiều xác suất cùng xảy ra. Ví dụ, chúng ta có thể tính xác suất để vũ trụ giãn nở gần cùng một tốc độ trong mọi hướng lúc mà mật độ trong vũ trụ có trị số hiện nay. Trong các mô hình đã được đơn giản hóa mà chúng ta đã xét đến đây, xác suất này là lớn; điều đó có nghĩa là điều kiện không có biên dẫn đến hệ quả là có xác suất lớn để tốc độ giãn nở hiện tại là gần như nhau theo mọi hướng. Điều này phù hợp với các quan trắc về bức xạ vi ba phông, những quan trắc này chứng tỏ rằng bức xạ có cùng một cường độ theo bất cứ hướng nào. Nếu vũ trụ giãn nở nhanh hơn theo một số hướng nào đó, thì cường độ bức xạ theo các hướng đó phải giảm đi do một sự dịch phụ về phía đỏ.

Những hệ quả khác của giả thiết không có biên hiện nay đang được nghiên cứu. Một vấn đề đặc biệt lý thú là trị số của những độ lệch nhỏ khỏi mật độ đồng nhất của vũ trụ vào những giai đoạn sớm, chính những độ lệch nhỏ đó sau này sẽ cấu thành nên, trước hết là các thiên hà, sau đó là các sao và cuối cùng là bản thân chúng ta. Nguyên lý bất định buộc rằng vũ trụ vào các giai đoạn sớm không thể tuyệt đối đồng nhất bởi vì tồn tại những bất định hay những thăng giáng của vị trí và vận tốc của các hạt. Sử dụng điều kiện không có biên,

chúng ta thấy rằng vũ trụ trong thực tế phải xuất phát từ sự không đồng nhất trong phạm vi cho phép bởi nguyên lý bất định. Vũ trụ đã phải trải qua một thời kỳ giãn nở nhanh như trong các mô hình lạm phát. Suốt thời kỳ đó, những chỗ không đồng nhất ban đầu sẽ được phóng đại lên đến khi đủ lớn để cho phép chúng ta giải thích được nguồn gốc của những cấu trúc quan sát được trong vũ trụ. Trong một vũ trụ giãn nở, trong đó mật độ vật chất thay đổi không nhiều từ chỗ này sang chỗ khác, thì hấp dẫn làm cho những vùng có mật độ cao hơn giãn nở chậm và bắt đầu co lại. Điều này dẫn đến sự hình thành các thiên hà, các sao và sau đó là cơ thể của chúng ta. Như vậy mọi cấu trúc phức tạp mà chúng ta quan sát được trong vũ trụ đều có thể giải thích được bởi giả thiết không có biên của vũ trụ với nguyên lý bất định của cơ học lượng tử.

Ý tưởng cho rằng không gian và thời gian có thể làm thành một mặt đóng không có biên cũng đưa ra những điều ràng buộc sâu sắc đối với vai trò của Chúa trong các công việc của vũ trụ. Với tiến bộ của các lý thuyết khoa học có khả năng mô tả nhiều hiện tượng, đa số tin tưởng rằng Chúa cho phép vũ trụ tiến hóa theo những quy luật nhất định và không can thiệp để vi phạm các quy luật đó. Song các định luật này không nói lên được vũ trụ đã thoát thai từ trạng thái nào – lên dây cót đồng hồ và chọn xem vũ trụ bắt đầu như thế nào vẫn là phần của Chúa. Nếu mà vũ trụ có một điểm xuất phát, chúng ta buộc lòng phải giả định có một Đấng sáng tạo. Nhưng nếu vũ trụ là hoàn toàn tự thân, không biên không mút thì vũ trụ cũng không có bắt đầu, không có kết thúc: vũ trụ chỉ tồn tại. Vậy thì Đấng sáng tạo giữ vị trí gì ở đây?

9.

MŨI TÊN CỦA THỜI GIAN

Nhận thức của chúng ta về bản chất của thời gian thay đổi theo năm tháng. Mãi đến đầu thế kỷ này người ta vẫn tin vào một thời gian tuyệt đối. Điều đó có nghĩa là mỗi sự cố có thể đánh dấu đơn trị bằng một con số gọi là thời gian và tất cả các đồng hồ chính xác phải cho cùng một quãng thời gian giữa hai sự cố. Song vì sự phát hiện tốc độ ánh sáng là như nhau đối với mọi quan sát viên, không phụ thuộc vào chuyển động của họ, đã dẫn đến lý thuyết tương đối buộc người ta phải hủy bỏ ý tưởng về một thời gian tuyệt đối duy nhất. Thay vì, mỗi quan sát viên có số đo thời gian riêng theo đồng hồ mà họ mang theo: những đồng hồ của các quan sát viên khác nhau không nhất thiết phù hợp nhau. Như thế thời gian đã trở thành một nhận thức cá nhân gắn liền với quan sát viên thực hiện phép đo.

Khi người ta tìm cách thống nhất hấp dẫn với cơ học lượng tử, người ta đã phải đưa vào khái niệm thời gian "ảo". Thời gian ảo như nhau đối với mọi hướng không gian. Nếu ta có thể đi về hướng Bắc thì ta cũng có thể quay người và đi về

phía Nam; tương tự nếu ta có thể đi tới trong thời gian ảo, thì ta cũng có khả năng quay người và đi lui. Điều đó có nghĩa là không có sự khác biệt quan trọng nào giữa hướng trước và hướng sau của thời gian ảo. Mặt khác, khi ta xét thời gian "thực" thì có một sự khác biệt rất lớn giữa các hướng trước và sau, như chúng ta đều biết. Từ đâu ra sự khác biệt đó giữa qúa khứ và tương lai? Tại sao chúng ta chỉ nhớ quá khứ mà không nhớ tương lai?

Các định luật khoa học không phân biệt quá khứ với tương lai. Nói chính xác hơn, các định luật khoa học không thay đổi dưới tổ hợp các toán tử (hay là các phép đối xứng) được biết dưới các ký hiệu C, P và T (C biến đổi hạt thành phản hạt, P là phép đối xứng qua gương, do đó trái và phải thay chỗ nhau, còn T là phép đảo hướng chuyển động của hạt: kết quả là hạt chuyển động lùi). Các định luật khoa học điều khiển tiến trình của vật chất trong mọi tình huống bình thường là không thay đổi dưới tác động của tổ hợp hai toán tử C và P. Nói cách khác, sự sống vẫn sẽ là như thế đối với người ở hành tinh khác nếu họ là phản chiếu gương của chúng ta và được cấu tạo bằng phản vật chất chứ không phải bằng vật chất.

Nếu các định luật khoa học không thay đổi dưới tổ hợp các toán tử C và P và cả dưới tổ hợp C, P và T thì chúng ta cũng phải không thay đổi dưới tác động của một mình toán tử T. Song có một sự khác biệt lớn giữa hướng trước và hướng sau của thời gian trong đời sống thường ngày. Hãy tưởng tượng một cốc thủy tinh rơi từ bàn và vỡ tan dưới sàn. Nếu ta nhìn phim ghi lại hiện tượng đó, ta có thể dễ dàng nói rằng phim đang bị quay tới hay quay lui. Nếu phim bị

quay lui thì ta sẽ thấy các mảnh vỡ bỗng nhiên tập kết lại với nhau, rời khỏi sàn và rồi nhảy lên bàn thành cái cốc nguyên vẹn. Sở dĩ ta nói được là phim đang quay lui là vì một tiến trình như vậy không bao giờ có thể quan sát được trong cuộc sống thường ngày. Vì ngược lại các nhà máy thủy tinh đã bị phá sản.

Người ta thường giải thích hiện tượng vì sao cốc vỡ dưới sàn không thể trở thành cốc lành trên bàn bằng định luật thứ hai của nhiệt động học. Định luật đó nói rằng trong một hệ thống kín thì vô trật tự hay entropi, luôn tăng với thời gian. Nói cách khác, đấy là một dạng của định luật Murphy: mọi vật luôn tiến triển theo chiều xấu đi! Một cốc lành ở trên bàn là một trạng thái với trật tự cao còn một cốc vỡ dưới sàn nhà là một trạng thái vô trật tự. Người ta có thể đi dễ dàng từ cái cốc trên bàn trong quá khứ đến cái cốc vỡ dưới sàn trong tương lai. Song không thể đi ngược lại.

Sự tăng vô trật tự hay entropi với thời gian là một thí dụ về cái gọi là mũi tên của thời gian, một khái niệm phân biệt quá khứ với hiện tại, một khái niệm xác định hướng của thời gian. ít nhất có tới ba mũi tên khác nhau của thời gian. Thứ nhất là mũi tên nhiệt động học của thời gian, chỉ hướng của thời gian theo đó vô trật tự hay entropy tăng lên. Tiếp đến là mũi tên tâm lý học của thời gian. Đó là hướng theo đó chúng ta cảm nhận được thời gian đang chảy, theo đó chúng ta chỉ nhớ quá khứ mà không thể có bất cứ một lưu niệm nào của tương lai. Cuối cùng là mũi tên vũ trụ học của thời gian. Đó là hướng của thời gian, theo đó vũ trụ nở ra chứ không co lại.

Trong chương này tôi sẽ chứng minh rằng điều kiện không có biên của vũ trụ kết hợp với nguyên lý vị nhân yếu

có thể giải thích được vì sao cả ba mũi tên của thời gian chỉ cùng một hướng và vì sao phải tồn tại một mũi tên thời gian có hướng xác định. Tôi sẽ chứng minh rằng mũi tên tâm lý học được xác định bởi mũi tên nhiệt động học và hai mũi tên đó nhất thiết phải luôn luôn chỉ cùng một hướng. Nếu ta giả định điều kiện không có biên cho vũ trụ, ta sẽ thấy tồn tại các mũi tên nhiệt động học và vũ trụ học của thời gian, song chúng không chỉ về cùng một hướng trong suốt lịch sử của vũ trụ. Nhưng tôi sẽ chứng minh rằng chỉ trong trường hợp khi chúng chỉ về cùng một hướng thì mới có những điều kiện thuận lợi cho sự phát triển những sinh vật trí tuệ có khả năng đặt ra câu hỏi: vì sao vô trật tự tăng theo hướng thời gian, theo đó vũ trụ nở ra?

Tôi sẽ bàn trước tiên đến tên nhiệt động học của thời gian. Định luật thứ hai của nhiệt động học được suy ra từ dữ kiện: luôn luôn có nhiều trạng thái vô trật tự hơn trạng thái có trật tự. Ví dụ, hãy xét những miếng lắp hình trong một trò chơi. Có một và chỉ một cách xếp những miếng lắp hình này thành một hình cho trước. Mặt khác có vô số cách xếp trong đó có những miếng lắp hình vô trật tự và không tạo thành một hình nào cả.

Giả sử một hệ xuất phát từ một trong số ít ỏi các trạng thái trật tự. Cùng với thời gian, hệ sẽ tiến triển theo các định luật khoa học và trạng thái của hệ thay đổi. Ở một thời điểm sau, có nhiều xác suất để hệ rơi vào một trạng thái vô trật tự hơn là trạng thái trật tự bởi vì có nhiều trạng thái vô trật tự hơn. Như thế vô trật tự sẽ có chiều hướng tăng lên với thời gian nếu hệ lúc ban đầu có một trật tự cao.

Giả sử các miếng lắp hình lúc ban đầu nằm trong hộp trò

chơi theo một cách xếp trật tự và tạo thành một hình. Nếu ta lắc hộp, các miếng lắp hình sẽ được xếp lại theo một cách khác. Đó sẽ là một cách xếp vô trật tự, trong đó các mảnh không tạo thành một hình nào, vì một lý do đơn giản là có nhiều cách xếp vô trật tự hơn. Một số nhóm các mảnh có thể vẫn còn tạo thành một số bộ phận của hình ban đầu, song càng lắc hộp thì càng có nhiều xác suất là các nhóm đó cũng tan vỡ và các mảnh sẽ rơi vào một trạng thái hoàn toàn vô trật tự, trong đó các mảnh không còn tạo nên một hình dạng nào cả. Như thế vô trật tự của các mảnh sẽ có nhiều xác suất tăng lên với thời gian nếu ban đầu chúng ở trạng thái có trật tự cao.

Song bây giờ giả sử rằng Chúa đã quyết định là vũ trụ phải kết thúc bằng một trạng thái có trật tự cao bất kể trạng thái ban đầu là như thế nào. Như vậy ở những giai đoạn sớm, vũ trụ có nhiều xác suất ở vào trạng thái vô trật tự. Điều đó có nghĩa là vô trật tự sẽ *giảm* theo thời gian và ta sẽ thấy cốc vỡ tập kết lại thành cốc lành và nhảy lên bàn. Những con người quan sát được cái cốc đó sẽ phải sống trong một vũ trụ ở đấy vô trật tự giảm với thời gian. Tôi sẽ chứng minh rằng những con người như thế sẽ có mũi tên tâm lý học của thời gian hướng về phía sau. Nghĩa là họ sẽ nhớ các sự kiện trong tương lai mà không nhớ các sự kiện trong quá khứ. Khi cốc vỡ, họ sẽ nhớ nó lúc ở trên bàn, họ sẽ không nhớ lúc nó ở dưới sàn.

Rất khó nói về trí nhớ của con người bởi vì chúng ta không biết bộ não hoạt động chi tiết như thế nào. Song le chúng ta biết rõ cách hoạt động của bộ nhớ các máy tính điện tử. Vì vậy tôi sẽ bàn về mũi tên tâm lý học của thời gian đó với máy tính điện tử. Tôi cho rằng ta có lý khi giả định rằng mũi tên

đối với máy tính điện tử trùng với mũi tên đối với con người. Nếu không, chúng ta có thể trúng to tại thị trường chứng khoán bằng cách sử dụng một máy tính điện tử có khả năng nhớ giá cả của ngày mai.

Bộ nhớ của máy tính điện tử cơ bản là một thiết bị chứa những yếu tố có thể nằm ở một trong hai trạng thái. Một ví dụ đơn giản là cái bàn tính. Trong dạng đơn giản nhất, bàn tính gồm một số dây kim loại, trên mỗi dây xâu một hạt, hạt có thể ở một trong hai vị trí. Trước khi một thông tin được ghi vào bộ nhớ của máy tính, bộ nhớ ở trong một trạng thái vô trật tự, với xác suất bằng nhau cho các cặp trạng thái khả dĩ (các hạt của bàn tính phân bố ngẫu nhiên trên các dây). Sau khi bộ nhớ tương tác với hệ cần nhớ, bộ nhớ sẽ ở vào một trạng thái nhất định ứng với trạng thái của hệ. (Mỗi hạt trên bàn tính sẽ ở hoặc bên phải hoặc bên trái của dây). Như thế bộ nhớ chuyển từ một trạng thái vô trật tự sang một trạng thái trật tự. Song, để thực hiện sự chuyển trạng thái đó, cần phải tiêu tốn một năng lượng (để dịch chuyển các hạt của bàn tính hoặc cung cấp điện năng cho máy tính điện tử). Năng lượng này sẽ tiêu tán dưới dạng nhiệt và làm tăng mức độ vô trật tự của vũ trụ. Người ta có thể chứng minh rằng độ gia tăng vô trật tự này luôn luôn lớn hơn độ gia tăng trật tự của bản thân bộ nhớ. Như thế lượng nhiệt bị xua đi bởi cái quạt làm mát máy tính là bằng chứng nói rằng khi máy tính ghi một thông tin vào bộ nhớ thì tổng vô trật tự trong vũ trụ tăng lên. Hướng đi của thời gian theo đó một máy tính ghi lại quá khứ trong bộ nhớ là cùng hướng với sự gia tăng vô trật tự.

Như thế sự cảm nhận chủ quan của chúng ta về hướng đi của thời gian, tức mũi tên tâm lý học của thời gian, được xác

định trong bộ não bởi mũi tên nhiệt động học của thời gian. Tương tự như máy tính điện tử, chúng ta phải nhớ sự việc theo thứ tự mà entropi tăng. Điều này làm cho định luật thứ hai của nhiệt động học trở thành hầu như hiển nhiên. Vô trật tự tăng với thời gian vì chúng ta đo thời gian theo hướng tăng của vô trật tự. Bạn không thể có một cách đánh cuộc nào khác chắc ăn hơn!

Nhưng vì sao nói chung lại tồn tại một mũi tên nhiệt động học của thời gian? Hay nói cách khác, vì sao vũ trụ phải ở trong một trạng thái trật tự cao ở đầu kia của thời gian, đầu mà người ta gọi là quá khứ? Tại sao vũ trụ không nằm trong một trạng thái vô trật tự hoàn toàn ở mọi thời gian? Nói cho cùng, điều này có vẻ như nhiều xác suất hơn. Và tại sao hướng đi của thời gian theo đó vô trật tự tăng lại trùng khớp với hướng theo đó vũ trụ nở ra?

Trong lý thuyết tương đối rộng cổ điển người ta không thể tiên đoán được vũ trụ đã bắt đầu như thế nào bởi vì mọi định luật khoa học đã biết đều không đúng tại điểm kỳ dị của vụ nổ lớn. Vũ trụ có thể bắt đầu từ một trạng thái rất đồng nhất và trật tự, điều này sẽ dẫn đến mũi tên nhiệt động học và vũ trụ học xác định của thời gian như chúng ta quan sát. Song vũ trụ cũng hoàn toàn có thể bắt đầu từ một trạng thái rất không đồng nhất và vô trật tự. Trong trường hợp này vì vũ trụ đã ở trong trạng thái rất vô trật tự rồi, cho nên vô trật tự không thể tăng theo thời gian nữa. Mức độ vô trật tự hoặc không thay đổi, lúc này không tồn tại mũi tên nhiệt động học xác định của thời gian, hoặc giảm đi, lúc này mũi tên nhiệt động học của thời gian chỉ hướng ngược lại của mũi tên vũ trụ học. Các khả năng này không phù hợp với điều ta quan

sát được. Song, như chúng ta đã thấy, lý thuyết tương đối rộng cổ điển tự tiên đoán sự sụp đổ của mình. Khi độ cong của không-thời gian trở nên lớn, các hiệu ứng hấp dẫn lượng tử trở nên quan trọng và lý thuyết cổ điển không còn mô tả tốt vũ trụ được nữa. Để hiểu được vũ trụ đã bắt đầu như thế nào, ta phải sử dụng một lý thuyết hấp dẫn lượng tử.

Trong một lý thuyết hấp dẫn lượng tử, như chúng ta thấy trong chương trước, muốn xác định trạng thái của vũ trụ chúng ta cần phải biết cách diễn biến của mọi lịch sử khả dĩ của vũ trụ ở biên không-thời gian trong quá khứ. Ta có thể tránh việc mô tả những gì mà ta không biết và không thể biết được nếu cho rằng các lịch sử thoả mãn điều kiện không có biên: chúng hữu hạn song không có biên, không có kỳ dị. Trong trường hợp đó, khởi điểm thời gian là một điểm không kỳ dị của không-thời gian và vũ trụ bắt đầu quá trình giãn nở từ một trạng thái đồng nhất và trật tự. Song vũ trụ không thể tuyệt đối đồng nhất vì như thế nó sẽ vi phạm nguyên lý bất định của lý thuyết lượng tử. Phải tồn tại những thăng giáng nhỏ về mật độ và vận tốc các hạt. Mặt khác điều kiện không có biên buộc rằng các thăng giáng đó phải đủ nhỏ, nhưng trong mức độ cho phép của nguyên lý bất định.

Vũ trụ có thể bắt đầu bằng một giai đoạn giãn nở theo hàm mũ hay giãn nở "lạm phát", trong giai đoạn này vũ trụ đã gia tăng kích thước nhiều lần. Trong quá trình giãn nở này, các thăng giáng mật độ lúc đầu có thể nhỏ, song sau đó thì bắt đầu lớn lên. Những vùng với mật độ lớn hơn trung bình một tý giãn nở chậm hơn vì lực hút hấp dẫn của khối lượng thừa. Những vùng như thế có thể ngừng giãn nở và co lại để hình thành những thiên hà, các ngôi sao và cả những

sinh vật như chúng ta. Vũ trụ có thể bắt đầu từ một trạng thái đồng nhất và trật tự, và dần dần trở thành không đồng nhất và vô trật tự. Chính điều này đã giải thích được sự tồn tại của mũi tên nhiệt động học của thời gian.

Song điều gì sẽ xảy ra nếu vũ trụ ngừng giãn nở và bắt đầu co lại? Mũi tên nhiệt động học có đổi hướng không và vô trật tự có giảm đi với thời gian không? Sự đảo ngược này sẽ dẫn đến những tình huống khoa học viễn tưởng cho những người sống sót sau thời điểm chuyển pha từ quá trình giãn nở sang quá trình co lại của vũ trụ. Liệu những người này có thấy những mảnh vỡ tập kết lại từ dưới sàn thành cốc lành và nhảy lên bàn không? Họ có sẽ nhớ được giá cả của ngày mai và trúng to trên thị trường chứng khoán chăng? Nỗi lo lắng điều gì sẽ xảy ra khi vũ trụ co trở lại ít nhiều mang tính chất kinh viện vì lẽ rằng vũ trụ có co lại cũng ít nhất vài chục tỷ năm nữa. Song có một cách nhanh chóng hơn để biết điều gì sẽ xảy ra lúc đó là nhảy vào một lỗ đen. Quá trình co lại của một sao để hình thành một lỗ đen rất giống những giai đoạn cuối của quá trình co lại của toàn bộ vũ trụ. Như thế nếu vô trật tự giảm trong pha co lại của vũ trụ thì vô trật tự cũng phải giảm trong lòng một lỗ đen. Như thế có thể người du hành vũ trụ khi rơi vào một lỗ đen sẽ trúng to trên bàn cò quay (rulét) bằng cách nhớ lại bi đã rơi vào đâu trước khi anh ta đặt cược. (Song tiếc thay anh ta không đủ thời gian chơi lâu trước khi biến thành sợi mì ống. Anh ta cũng không thể thông báo cho chúng ta biết về sự đảo hướng của mũi tên nhiệt động học, thậm chí cũng không đưa kịp tiền thắng cược của mình vào ngân hàng vì anh ta bị cuốn mất sau chân trời sự cố của lỗ đen).

Lúc đầu tôi những tưởng rằng vô trật tự sẽ giảm khi vũ trụ co lại. Tôi tưởng thế vì tôi cho là vũ trụ sẽ quay về trạng thái đồng nhất và trật tự khi nó trở thành nhỏ. Điều này có nghĩa là pha co lại là nghịch đảo theo thời gian của pha giãn nở. Mọi người sống trong pha co lại sẽ sống cuộc đời chảy lùi: Họ sẽ chết trước lúc sinh ra và càng ngày càng trẻ ra lúc vũ trụ co nhỏ lại.

Ý tưởng trên rất hấp dẫn vì thiết lập được một đối xứng đẹp giữa hai pha giãn nở và co lại. Song chúng ta không thể chấp nhận ý tưởng này một cách tự thân, độc lập với những ý tưởng khác về vũ trụ. Câu hỏi nảy sinh là: ý tưởng này tương thích hay mâu thuẫn với điều kiện không có biên? Như đã nói ở trên tôi đã nghĩ lúc đầu rằng điều kiện không có biên ắt đòi hỏi rằng vô trật tự sẽ giảm đi trong pha co lại. Ở đây tôi nhầm một phần vì liên tưởng đến mặt quả đất. Nếu ta lấy Cực Bắc làm điểm bắt đầu tương ứng của vũ trụ, thì điểm kết thúc của vũ trụ sẽ tương tự như điểm ban đầu, hoàn toàn giống như Cực Nam tương tự với Cực Bắc. Song Cực Bắc và Cực Nam chỉ tương ứng với điểm bắt đầu và kết thúc của vũ trụ trong thời gian ảo mà thôi. Điểm bắt đầu và điểm kết thúc của vũ trụ có thể rất khác nhau trong thời gian thực. Tôi nhầm phần khác vì một công trình tôi làm trước dựa trên một mô hình đơn giản của vũ trụ trong đó pha co lại là nghịch đảo theo thời gian của pha giãn nở. Nhưng một bạn đồng nghiệp của tôi, Don Page ở đại học quốc gia Pensylvania đã chỉ ra rằng điều kiện không có biên không đòi hỏi pha co lại nhất thiết phải là nghịch đảo theo thời gian của pha giãn nở. Sau đó một sinh viên của tôi, Raymond Laflamme đã phát hiện rằng trong một mô hình phức tạp

hơn một chút thì sự co lại của vũ trụ khác xa sự giãn nở. Tôi hiểu rằng tôi đã nhầm: điều kiện không có biên ngụ ý rằng vô trật tự thực tế vẫn tiếp tục tăng trong quá trình co lại. Các mũi tên nhiệt động học và tâm lý học của thời gian sẽ không đảo hướng cả trong lỗ đen, lẫn khi vũ trụ bắt đầu co lại.

Bạn phải làm gì khi nhận ra mình đã nhầm như thế? Một số người chẳng bao giờ công nhận mình sai và tiếp tục tìm ra những lý lẽ mới, thường mâu thuẫn với nhau để bảo vệ quan điểm của mình như trường hợp Eddington đã làm để chống lại thuyết các lỗ đen. Một số người khác phủ nhận rằng đã thực tế bảo vệ quan điểm sai lầm, hoặc nếu có bảo vệ thì cũng chỉ vì muốn vạch ra sai lầm của quan điểm đó. Theo ý tôi tốt hơn cả là công bố trên báo quan điểm sai lầm của mình. Một ví dụ đẹp là trường hợp Einstein khi cho rằng hằng số vũ trụ mà ông đưa vào lý thuyết để thiết lập mô hình tĩnh của vũ trụ là sai lầm lớn nhất của đời mình.

Quay trở lại mũi tên của thời gian, còn lại câu hỏi: vì sao ta quan sát thấy các mũi tên của nhiệt động học và vũ trụ học là đồng hướng? Hay nói cách khác, vì sao vô trật tự tăng lên theo hướng của thời gian theo đó vũ trụ giãn nở? Nếu ta tin tưởng rằng vũ trụ giãn nở rồi sau đó sẽ co lại, điều này dường như đã tiềm ẩn trong điều kiện không có biên, thì câu hỏi trên trở thành câu hỏi vì sao chúng ta phải ở vào pha giãn nở chứ không phải pha co lại?

Chúng ta có thể trả lời câu hỏi này trên cơ sở của nguyên lý vị nhân yếu. Các điều kiện trong pha co lại không cho phép sự tồn tại các sinh vật có trí tuệ để mà có khả năng đặt ra câu hỏi: Vì sao vô trật tự tăng theo hướng của thời gian theo đó vũ trụ giãn nở? Sự giãn nở lạm phát trong những giai

đoạn sớm của vũ trụ, tiên đoán bởi giả thiết không có biên, có nghĩa là vũ trụ phải giãn nở với tốc độ rất gần tốc độ tới hạn, vừa vặn để tránh được quá trình co lại, và như thế sẽ không co lại trong một thời gian rất dài. Đến lúc đó các sao sẽ đốt hết nhiên liệu và các prôtôn và nơtrôn trong các sao sẽ phân rã thành bức xạ và các hạt nhẹ hơn. Vũ trụ sẽ ở vào trạng thái gần như vô trật tự hoàn toàn. Mũi tên nhiệt động học của thời gian sẽ không xác định. Vô trật tự không thể tăng hơn vì vũ trụ đã rơi vào trạng thái gần như vô trật tự hoàn toàn. Song, một mũi tên nhiệt động học xác định là cần thiết cho sự sống có trí tuệ. Dể sống, con người cần thức ăn vốn ở dạng trật tự của năng lượng, biến đổi thức ăn thành nhiệt năng là dạng vô trật tự của năng lượng. Như vậy sự sống có trí tuệ không thể tồn tại trong pha co lại của vũ trụ, điều này giải thích vì sao ta quan sát thấy các mũi tên nhiệt động học và vũ trụ học của thời gian đều chỉ về một hướng. Không phải sự giãn nở của vũ trụ làm cho vô trật tự tăng lên. Đúng hơn là điều kiện không có biên làm cho vô trật tự tăng lên và các điều kiện trở nên thích hợp cho sự sống trí tuệ chỉ trong pha giãn nở của vũ trụ.

Tóm lại, các định luật khoa học không phân biệt hướng tới và hướng lui của thời gian. Song ít nhất có ba mũi tên thời gian làm phân biệt quá khứ với tương lai. Đó là mũi tên nhiệt động học chỉ hướng của thời gian theo đó vô trật tự tăng lên; mũi tên tâm lý học chỉ hướng của thời gian theo đó chúng ta chỉ nhớ quá khứ mà không nhớ tương lai và mũi tên vũ trụ học chỉ hướng thời gian theo đó vũ trụ giãn nở chứ không co lại. Tôi đã chứng minh rằng mũi tên tâm lý học và mũi tên nhiệt động học thực chất là một, vì chúng chỉ cùng hướng.

Giả thiết không có biên cho vũ trụ dẫn đến sự tồn tại của một mũi tên nhiệt động học xác định của thời gian vì vũ trụ phải xuất phát từ một trạng thái đồng nhất và trật tự. Và lý do vì sao ta quan sát mũi tên nhiệt động học cùng hướng với mũi tên vũ trụ học là các sinh vật có trí tuệ chỉ có thể tồn tại trong pha giãn nở. Pha co lại của vũ trụ không thích hợp cho sự sống có trí tuệ vì trong pha này không tồn tại mũi tên nhiệt động học định hướng rõ ràng.

Tiến bộ của loài người trong quá trình tìm hiểu vũ trụ đã thiết lập nên một góc nhỏ trật tự trong cái vô trật tự ngày càng tăng của vũ trụ. Nếu bạn nhớ mỗi chữ trong quyển sách này, trí nhớ của bạn đã ghi nhận khoảng hai triệu đơn vị thông tin: trật tự trong bộ não của bạn đã tăng lên chừng hai triệu đơn vị. Song khi đọc quyển sách này bạn đã biến ít nhất hai ngàn calo năng lượng trật tự ở dạng thức ăn thành năng lượng vô trật tự ở dạng nhiệt mà bạn mất đi vào môi trường xung quanh do đối lưu và bay hơi mồ hôi. Điều này sẽ làm tăng vô trật tự của vũ trụ khoảng 20 triệu triệu triệu triệu đơn vị hay khoảng mười triệu triệu triệu lần số gia tăng trật tự trong bộ não của bạn, nếu bạn nhớ *mọi thứ* trong quyển sách này. Trong chương sau tôi sẽ cố gắng làm tăng mức độ trật tự cho cái góc nhỏ của chúng ta thêm một chút nữa bằng cách giải thích người ta đang thử lắp ghép các lý thuyết riêng phần mà tôi đã mô tả ở trên như thế nào để tạo nên một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh có khả năng mô tả được vạn vật trong vũ trụ.

10

CÁC LỖ SÂU ĐỤC VÀ DU HÀNH THEO THỜI GIAN

Chương trước chúng ta đã bàn về chuyện tại sao chúng ta nhận thấy thời gian trôi về phía trước: tại sao sự hỗn loạn lại tăng và tại sao chúng ta chỉ nhớ quá khứ chứ không nhớ gì về tương lai. Thời gian được coi như một đường ray thẳng tắp, mà ta chỉ có thể đi một chiều theo nó, chiều này hoặc chiều kia.

Nhưng điều gì sẽ xảy ra khi đường ray đó có những đường vòng khép kín và những nhánh sao cho con tàu vẫn lao về phía trước nhưng lại trở về một ga mà nó đã đi qua? Nói một cách khác, liệu có thể có ai đó du hành về tương lai hay quá khứ?

H.G. Wells trong cuốn *Máy thời gian* đã khám phá những khả năng đó như vô vàn các nhà văn khoa học viễn tưởng khác. Thực ra, có nhiều ý tưởng của khoa học viễn tưởng, như tàu ngầm và du hành lên mặt trăng, đã trở thành thực tiễn khoa học. Vậy có những triển vọng nào cho những cuộc du hành theo thời gian?

Chỉ dẫn đầu tiên cho thấy các định luật vật lý có thể thực sự cho phép con người du hành theo thời gian xuất hiện vào năm 1949 khi mà Kurt Goden đã phát hiện ra một không-thời gian mới mà thuyết tương đối rộng cho phép. Goden là nhà toán học đã từng nổi tiếng vì đã chứng minh được rằng không thể chứng minh được tất cả các mệnh đề đúng, thậm chí ngay cả khi thử chứng minh mọi mệnh đề đúng trong một môn học quá ư quen thuộc như số học. Giống như nguyên lý bất định, định lý về tính không đầy đủ của Goden có thể là một hạn chế cơ bản đối với khả năng tìm hiểu và tiên đoán vũ trụ của chúng ta, nhưng ít nhất là cho tới nay nó chưa hề tỏ ra là một trở ngại trong cuộc tìm kiếm một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh.

Goden chắc đã biết về thuyết tương đối rộng khi ông và Einstein sống những năm sau này tại Viện nghiên cứu khoa học cao cấp ở Princeton. Không-thời gian của ông có một tính chất lạ lùng là toàn bộ vũ trụ là quay. Người ta có thể hỏi: "Nói quay là quay đối với cái gì?" Câu trả lời là vật chất ở xa có thể quay đối với các hướng chỉ của các con quay hay con quay hồi chuyển.

Điều này có một hiệu ứng phụ dẫn đến khả năng có thể có một ai đó bay đi trên một con tàu vũ trụ và trở về trái đất trước cả khi anh ta lên đường. Tính chất này đã thực sự khiến Einstein bối rối, vì ông đã nghĩ rằng thuyết tương đối rộng không thể cho phép du hành theo thời gian. Tuy nhiên, căn cứ vào những ghi chép về sự phản đối không có cơ sở của Einstein đối với sự co do hấp dẫn và nguyên lý bất định thì có thể đây lại là một dấu hiệu đáng khích lệ. Nghiệm mà Goden tìm ra không tương ứng với vũ trụ chúng ta đang sống

bởi vì chúng ta có thể chỉ ra rằng vũ trụ đó không quay. Nó cũng có hằng số vũ trụ khác không, đây là hằng số mà Einstein đưa vào khi ông cho rằng vũ trụ là tĩnh, không thay đổi. Sau khi Hubble phát hiện ra sự giãn nở của vũ trụ, người ta nhận thấy không cần sự có mặt của hằng số vũ trụ nữa, và bấy giờ , nói chung, người ta tin là hằng số đó có giá trị bằng không. Tuy nhiên, từ đó người ta cũng tìm ra nhiều không-thời gian hợp lý khác mà thuyết tương đối rộng cho phép nhưng lại cũng cho phép sự du hành theo thời gian. Một không-thời gian như vậy là không-thời gian bên trong một lỗ đen quay. Một không-thời gian khác là không-thời gian chứa hai dây vũ trụ chuyển động đi qua nhau với vận tốc lớn. Như chính tên của nó đã gợi ý, các dây vũ trụ là những đối tượng, tựa như các dây thông thường, có chiều dài nhưng tiết diện ngang rất nhỏ. Thực tế thì chúng giống một dải cao su hơn, vì chúng có sức căng rất lớn, cỡ cả triệu, triệu, triệu triệu tấn. Một dây vũ trụ gắn với trái đất có thể gia tốc nó từ 0 tới 60m/h trong 1/30 giây. Các dây vũ trụ nghe có vẻ như là khoa học viễn tưởng thuần túy, nhưng có đầy đủ lý do để tin rằng chúng đã được tạo ra trong vũ trụ thuở sơ sinh như kết quả của sự phá vỡ đối xứng thuộc loại mà ta đã đề cập tới trong Chương 5. Vì có sức căng rất lớn và có thể bắt đầu trong bất kỳ cấu hình nào, các dây có thể gia tốc tới một vận tốc rất lớn khi chúng bị kéo căng ra.

Nghiệm của Goden và không-thời gian dây vũ trụ lúc xuất phát đều bị uốn cong mạnh tới mức khiến cho việc du hành về quá khứ trở nên khả dĩ. Có thể là Chúa đã tạo ra một vũ trụ bị uốn cong như vậy, nhưng chúng ta chẳng có lí do gì để tin Ngài đã làm như thế. Những quan sát nền bức xạ

vi ba và sự phong phú của các nguyên tố nhẹ chỉ ra rằng vũ trụ thuở sơ sinh đã không có loại độ cong cần thiết cho phép việc du hành theo thời gian. Chính kết luận ấy cũng được suy ra trên cơ sở lý thuyết nếu giả thiết vũ trụ không có biên là đúng. Như vậy vấn đề đặt ra là: nếu vũ trụ xuất phát đã không có loại độ cong cần thiết cho sự du hành theo thời gian thì liệu sau này chúng ta có thể uốn cong một số vùng địa phương của không-thời gian đủ để làm việc đó hay không?

Một vấn đề có liên hệ mật thiết cũng liên quan đến các nhà văn khoa học viễn tưởng là du hành nhanh giữa các vì sao và giữa các thiên hà. Theo thuyết tương đối, không có gì có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Do đó, nếu chúng ta gửi một con tàu tới ngôi sao Alpha trong chòm sao Nhân Mã, ngôi sao ở gần ta nhất, cách ta khoảng 4 năm ánh sáng, thì ít nhất cũng phải mất 8 năm những người du hành mới có thể trở về và cho ta biết họ đã tìm thấy những gì ở đó. Còn nếu đoàn thám hiểm đi tới tâm thiên hà thì ít nhất phải mất 100 ngàn năm họ mới trở về. Lý thuyết tương đối chỉ cho phép ta một niềm an ủi. Đó là cái gọi là nghịch lý hai anh em sinh đôi đã được nói tới ở Chương 2.

Do không có một chuẩn duy nhất về thời gian, nhưng những người quan sát mỗi người lại có một thời gian riêng của mình được đo bằng đồng hồ mà họ mang theo, nên có thể xảy ra chuyện đối với phi hành đoàn chuyến du hành vũ trụ dường như là ngắn hơn đối với những người ở lại mặt đất. Và khi trở về họ cũng chẳng mấy vui vẻ, vì họ chỉ già đi ít tuổi nhưng những người thân mà họ để lại ở mặt đất đã quy tiên cả ngàn năm. Như vậy để thu hút sự quan tâm của mọi người đến những câu chuyện của mình, các nhà văn khoa học viễn

tưởng phải cho rằng một ngày nào đó chúng ta có thể sẽ phát minh ra cách chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Điều mà đa số các nhà văn khoa học viễn tưởng không nhận thấy được, đó là nếu ta có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng thì lý thuyết tương đối cũng sẽ cho phép ta đi ngược lại thời gian, đúng như bài thơ hài hước sau đã nói:

Có một tiểu thư Wight
Đi nhanh hơn ánh sáng nhiều
Một ngày kia nàng ra đi
Theo một con đường tương đối,
Và nàng đã tới nơi vào tối hôm trước.

Điểm quan trọng ở đây là thuyết tương đối nói rằng không có một thước đo thời gian duy nhất mà mọi người quan sát đều phải nhất trí với nhau. Thay vì, mỗi người quan sát có một thước đo thời gian riêng. Nếu một tên lửa chuyển động với vận tốc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng có thể đi từ sự kiện A (chẳng hạn, là sự kết thúc của cuộc thi chạy 100m tại Thế vận hội năm 2012) tới sự kiện B (chẳng hạn, lễ khai mạc Hội nghị lần thứ 100.004 trên sao Alpha), thì mọi người quan sát đều nhất trí rằng sự kiện A xảy ra trước sự kiện B theo thời gian của họ. Tuy nhiên, giả sử rằng con tàu có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng để mang tin tức từ cuộc thi chạy tới Hội nghị. Khi đó, những người quan sát chuyển động với vận tốc khác nhau có thể không còn nhất trí về chuyện sự kiện A xảy ra trước sự kiện B hay ngược lại. Theo thời gian của một người quan sát, người đứng yên đối với trái đất, thì có thể Hội nghị khai mạc sau cuộc thi chạy. Như vậy người quan sát này có thể nghĩ rằng con tàu vũ trụ có thể đi

từ A đến B theo thời gian chỉ nếu nó có thể không cần biết tới giới hạn vận tốc của tốc độ ánh sáng. Tuy nhiên, đối với người quan sát ở trên sao Alpha chuyển động ra xa trái đất với vận tốc gần bằng vận tốc ánh sáng thì hoá ra B, sự kiện khai mạc Hội nghị, có thể sẽ xảy ra trước A, sự kiện cuộc thi chạy 100m. Vì lý thuyết tương đối nói rằng các định luật vật lý thể hiện như nhau đối với những người quan sát chuyển động với vận tốc khác nhau.

Điều này đã được kiểm chứng chặt chẽ bởi thực nghiệm và chắc chắn nó vẫn còn đúng ngay cả khi chúng ta tìm được một lý thuyết tân tiến hơn để thay thế cho thuyết tương đối. Như vậy người quan sát chuyển động có thể nói rằng nếu có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng thì cũng có thể đi từ B, sự kiện khai mạc Hội nghị, tới A, sự kiện thi chạy 100m. Và nếu đi nhanh hơn một chút, người ta thậm chí có thể kịp quay về trước khi cuộc thi chạy xảy ra và đặt cược với phần thắng cầm chắc trong tay.

Có một vấn đề đối với sự phá vỡ rào chắn vận tốc ánh sáng. Lý thuyết tương đối nói rằng công suất mà tên lửa cần thiết để gia tốc một con tàu sẽ ngày càng lớn hơn khi tiến gần tới vận tốc ánh sáng. Chúng ta cũng đã có bằng chứng thực nghiệm cho khẳng định đó, tất nhiên không phải với con tàu vũ trụ, mà đối với các hạt cơ bản trong các máy gia tốc, như các máy ở Fermilab hay CERN (Trung tâm Nghiên cứu Hạt nhân châu Âu). Chúng ta có thể gia tốc các hạt tới 99,99% vận tốc ánh sáng, nhưng công suất phải cung cấp nhiều hơn và chúng ta không thể nào đưa chúng vượt qua được rào chắn vận tốc, tức vận tốc ánh sáng. Cũng tương tự đối với các con tàu vũ trụ: dù có được cung cấp bao

nhiêu công suất đi nữa, chúng cũng không thể gia tốc vượt quá vận tốc ánh sáng.

Điều này dường như đã loại bỏ cả chuyện du hành nhanh lẫn chuyện du hành theo thời gian. Tuy nhiên, có một lối thoát khả dĩ. Có thể người ta sẽ uốn cong không-thời gian sao cho có một đường tắt giữa A và B. Một cách để làm điều đó là tạo ra một lỗ sâu đục giữa A và B. Như tên gọi của nó cho thấy, một lỗ sâu đục là một ống mảnh của không-thời gian nối hai vùng gần như phẳng ở cách xa nhau.

Không có một mối quan hệ nào giữa khoảng cách qua lỗ sâu đục với sự ngăn cách hai đầu của nó trên nền gần như phẳng. Như vậy có thể hình dung rằng ta có thể tạo ra hoặc tìm ra các lỗ sâu đục dẫn từ vùng lân cận Hệ mặt trời tới sao Alpha. Khoảng cách này qua lỗ sâu đục có thể chỉ cỡ gần một triệu dặm, trong khi đó khoảng cách giữa trái đất và sao Alpha phải cỡ hai mươi triệu triệu dặm trong không gian thông thường. Điều đó cho phép tin về cuộc chạy thi tới được đúng lúc khai mạc Hội nghị ở sao Alpha. Nhưng khi đó một người quan sát chuyển động về phía trái đất cũng có thể tìm ra một lỗ sâu đục khác cho phép anh ta đi từ lễ khai mạc Hội nghị trên sao Alpha trở về trái đất trước khi bắt đầu cuộc chạy thi. Như vậy, các lỗ sâu đục, giống như một dạng khác của du hành nhanh hơn ánh sáng, có thể cho phép ta du hành về quá khứ.

Ý tưởng về các lỗ sâu đục giữa các vùng khác nhau của không-thời gian không phải là một phát kiến của các nhà văn khoa học viễn tưởng mà xuất hiện từ một nguồn rất nghiêm túc.

Năm 1935 Einstein và Nathan Rosen đã viết một bài báo trong đó họ đã chứng minh rằng thuyết tương đối rộng cho phép cái mà họ gọi là các "cầu nối", mà thực chất chính là các lỗ sâu đục như ta biết hiện nay. Các cầu nối Einstein – Rosen không kéo dài đủ lâu để cho một con tàu vũ trụ kịp chui qua và con tàu sẽ vấp phải một kì dị khi lỗ sâu đục bóp chặt lại. Tuy nhiên, cũng có gợi ý rằng đối với một nền văn minh tiên tiến, người ta có thể giữ cho lỗ sâu đục mở mãi. Để làm điều đó, tức là uốn cong không-thời gian theo một cách khác nào đó để cho phép có thể du hành theo thời gian, người ta chứng minh được rằng cần phải có một vùng không-thời gian có độ cong âm, giống như một chiếc yên ngựa. Vật chất thông thường có mật độ năng lượng dương làm cho không-thời gian có độ cong dương, giống như một mặt cầu. Như vậy cái mà chúng ta cần, để uốn cong không-thời gian theo cách có thể cho phép du hành về quá khứ, là vật chất phải có mật độ năng lượng âm.

Năng lượng cũng *hơi tựa* như tiền bạc: nếu tài khoản của bạn có số dư dương, bạn có thể chi tiêu nó theo các cách khác nhau, nhưng theo các định luật cổ điển, những định luật vào đầu thế kỷ trước người ta tin tưởng một cách tuyệt đối, thì bạn không thể rút ra quá số tiền đó. Như vậy tức là các định luật cổ điển này đã loại trừ khả năng du hành theo thời gian. Tuy nhiên, như đã mô tả trong các chương trước, các định luật cổ điển đã bị các định luật lượng tử dựa trên nguyên lý bất định thay thế. Các định luật lượng tử phóng khoáng hơn, nó cho phép bạn có thể rút quá số dư trong một vài tài khoản nhưng với điều kiện vẫn phải đảm bảo tổng số dư là dương. Nói một cách khác, lý thuyết lượng tử cho phép mật độ năng

lượng âm ở vài nơi, với điều kiện điều đó được bù lại bằng mật độ năng lượng dương ở những nơi khác, sao cho tổng năng lượng vẫn là dương. Một ví dụ về lý thuyết lượng tử có thể cho phép mật độ năng lượng âm như thế nào là hiệu ứng Casimir. Như chúng ta đã thấy trong Chương 7, thậm chí cái mà ta nghĩ là không gian "trống rỗng" cũng nhung nhúc những cặp hạt và phản hạt ảo. Chúng cùng nhau xuất hiện, chuyển động ra xa nhau và cùng quay trở lại để hủy nhau. Bây giờ, giả sử rằng có hai tấm kim loại đặt song song và cách nhau một khoảng nhỏ. Các tấm này có tác dụng như các gương đối với các photon ảo hay các hạt ánh sáng. Thực tế chúng tạo thành một hốc gần giống như một ống trong đàn organ chỉ cộng hưởng đối với một số nốt nhạc nào đó. Điều này có nghĩa là các photon ảo có thể xuất hiện trong không gian giữa hai tấm chỉ nếu chúng có bước sóng sao cho một bội số của nó đặt vừa khít khoảng cách giữa hai tấm. Nếu bề rộng của hốc bằng một số nguyên lần bước sóng cộng với một phân số của bước sóng thì sau khi phản xạ tới lui giữa hai tấm các đỉnh của sóng này sẽ trùng với các hõm của sóng kia và các sóng sẽ triệt tiêu nhau.

Vì các photon ảo giữa hai tấm chỉ có thể có các bước sóng cộng hưởng, nên số lượng của chúng sẽ hơi ít hơn ở vùng bên ngoài, nơi các photon ảo có thể có bước sóng bất kỳ. Vì vậy số photon đập vào các tấm ở phía trong sẽ hơi ít hơn so với bên ngoài, do đó người ta hy vọng sẽ có một lực đẩy hai tấm lại gần nhau. Lực này thực tế đã ghi nhận được và có giá trị đúng như đã tiên đoán. Như vậy chúng ta đã có bằng chứng thực nghiệm xác nhận rằng các hạt ảo tồn tại và có những hiệu ứng thực sự.

Thực tế là số photon ảo giữa hai tấm ít hơn có nghĩa là mật độ của chúng sẽ ít hơn ở đâu đó. Nhưng mật độ năng lượng toàn phần trong không gian "trống rỗng" ở rất xa tấm cần phải bằng không, vì nếu không mật độ năng lượng sẽ làm cong không gian và nó không còn hầu như phẳng nữa. Như vậy, nếu mật độ năng lượng giữa hai tấm nhỏ hơn mật độ năng lượng ở xa, thì nó phải là âm.

Như vậy, chúng ta đã có bằng chứng thực nghiệm cho cả không-thời gian bị uốn cong (sự cong của tia sáng trong thời gian nhật thực) lẫn nó bị uốn cong theo cách cần thiết để cho phép có thể du hành theo thời gian (hiệu ứng Casimir). Do đó, người ta có thể hy vọng rằng, với sự tiến bộ của khoa học và công nghệ, rồi sẽ đến lúc chúng ta chế tạo được máy thời gian. Nhưng nếu đúng như vậy, thì tại sao chưa thấy có ai tới từ tương lai để nói với chúng ta làm điều đó bằng cách nào? Có đầy đủ lý do để giải thích tại sao sẽ là không sáng suốt nếu trao cho chúng ta những bí quyết du hành theo thời gian trong tình trạng phát triển còn thô sơ như hiện nay của chúng ta, nhưng trừ phi bản chất của con người thay đổi một cách triệt để, còn thì rất khó mà tin rằng một vị khách nào đó tới từ tương lai lại không muốn tiết lộ bí quyết đó. Tất nhiên, một số người coi việc quan sát thấy các đĩa bay là bằng chứng về sự viếng thăm của những người ngoài Trái đất hoặc những người tới từ tương lai. (Nếu những người ngoài Trái đất tới được đây trong khoảng thời gian hợp lý thì họ phải đi nhanh hơn ánh sáng, do đó hai khả năng là tương đương nhau).

Tuy nhiên, tôi thì tôi cho rằng bất cứ cuộc viếng thăm nào, dù là của những người ngoài Trái đất hay của những người

tới từ tương lai, đều rõ ràng hơn nhiều và, có lẽ, cũng khó chịu hơn nhiều. Nếu họ tới để bộc lộ mình hoàn toàn thì tại sao lại làm như vậy đối với những người không được coi như người làm chứng đáng tin cậy? Nếu họ tới để báo cho chúng ta về một đại họa nào đó, thì sao lại làm một cách thiếu hiệu quả như vậy.

Một cách khả dĩ giải thích sự thiếu vắng của các vị khách tới từ tương lai là nói rằng quá khứ đã bị cố định vì chúng ta đã quan sát được nó và thấy rằng nó không có loại uốn cong cần thiết để cho phép có thể du hành trở về từ tương lai. Mặt khác, tương lai là chưa biết và còn để mở và vì vậy nó rất có thể có một độ cong cần thiết. Điều này có nghĩa là mọi cuộc du hành theo thời gian đều bị giới hạn ở tương lai. Và sẽ không có cơ may cho cơ trưởng Kirk và con tàu *Enterprise* xuất hiện ở hiện tại.

Điều này giải thích tại sao chúng ta còn chưa bị tràn ngập bởi khách du lịch tới từ tương lai, nhưng sẽ không tránh khỏi những vấn đề đặt ra nếu người ta có thể trở về và làm thay đổi lịch sử. Chẳng hạn, giả sử rằng bạn quay trở về và giết chết cụ kỵ của bạn khi ông ta còn là trẻ con. Có rất nhiều phiên bản của nghịch lý đó nhưng về căn bản chúng là tương đương nhau: người ta sẽ gặp mâu thuẫn khi tự do thay đổi quá khứ.

Có hai cách giải quyết khả dĩ những nghịch lý đặt ra bởi việc du hành theo thời gian. Một cách tôi gọi là cách tiếp cận lịch sử nhất quán. Nó nói rằng ngay cả khi không-thời gian bị uốn cong sao cho có thể du hành về quá khứ, thì cái xảy ra trong không-thời gian phải là một nghiệm nhất quán của các quy luật vật lý. Theo quan điểm này thì bạn không thể

đi ngược lại thời gian trừ phi lịch sử chứng tỏ rằng bạn đã tới trong quá khứ và trong khi ở đó bạn đã không giết chết cụ kỵ của bạn hoặc thực hiện các hành động khác xung đột với tình trạng hiện nay của bạn trong hiện tại. Hơn nữa, khi bạn đã quay trở lại, bạn không thể thay đổi lịch sử đã được ghi chép. Điều đó có nghĩa là bạn không có tự do ý chí để làm những cái mà bạn muốn. Tất nhiên, người ta có thể nói rằng tự do ý chí dù sao cũng chỉ là một ảo tưởng. Nếu thực sự có một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh chi phối vạn vật, thì nó cũng xác định trước những hành động của bạn. Nhưng nó làm điều đó theo cách không thể tính toán được cho một cơ thể phức tạp như con người chúng ta. Lý do để chúng ta nói rằng con người có ý chí tự do là bởi vì chúng ta không tiên đoán được những cái mà họ sẽ làm. Tuy nhiên, nếu con người đi ra ngoài không gian trong một con tàu vũ trụ và trở về trước khi mình xuất phát, thì chúng ta *sẽ* tiên đoán được cái mà anh ta hay chị ta sẽ làm bởi vì nó sẽ là một phần của lịch sử đã được ghi chép lại. Như vậy, trong tình huống đó, người du hành theo thời gian sẽ không còn ý chí tự do nữa.

Một cách khác để giải quyết những nghịch lý của du hành theo thời gian được gọi là giả thuyết về các lịch sử thay thế khác. Ý tưởng ở đây là khi những người du hành theo thời gian quay trở về quá khứ, họ sẽ bước vào các lịch sử khác, khác với lịch sử đã được ghi chép. Như vậy họ có thể hành động tự do, không bị ràng buộc bởi sự nhất quán với lịch sử trước đó của họ. Steven Spielberg đã bông đùa với khái niệm đó trong bộ phim *Trở về tương lai*: Marty McFly có thể trở về quá khứ và thay đổi sự tán tỉnh của bố mẹ mình thành một lịch sử thỏa đáng hơn.

Giả thuyết về các lịch sử thay thế khác xem ra khá giống với cách mà Richard Feynman biểu diễn lý thuyết lượng tử như tổng của các lịch sử, mà chúng tôi đã mô tả trong Chương 4 và Chương 8. Theo đó, vũ trụ không chỉ có một lịch sử duy nhất, mà thực ra nó có mọi lịch sử khả dĩ, mỗi lịch sử có một xác suất riêng. Tuy nhiên, dường như có một sự khác biệt quan trọng giữa đề xuất của Feynman và các lịch sử thay thế khác. Trong tổng của Feynman, mỗi lịch sử bao gồm toàn bộ không-thời gian và vạn vật trong đó. Không-thời gian có thể bị uốn cong tới mức có thể dùng tên lửa du hành về quá khứ. Song tên lửa cũng ở trong chính không-thời gian đó và do đó trong cùng lịch sử đó, một lịch sử cần phải nhất quán. Như vậy việc lấy tổng theo các lịch sử của Feynman dường như hỗ trợ cho giả thuyết về các lịch sử nhất quán chứ không phải cho giả thuyết về các lịch sử thay thế khác.

Tổng theo các lịch sử của Feynman *cho phép* du hành về quá khứ ở thang vi mô. Trong Chương 9 ta đã thấy rằng các định luật của khoa học là không thay đổi dưới tác dụng của tổ hợp các phép C, P và T. Điều này có nghĩa là các phản hạt quay theo hướng ngược chiều kim đồng hồ và chuyển động từ A đến B có thể được coi như hạt thông thường quay theo chiều kim đồng hồ và chuyển động lùi theo thời gian từ B đến A. Tương tự, một hạt bình thường chuyển động tiến theo thời gian là tương đương với một phản hạt chuyển động giật lùi theo thời gian. Như chúng ta đã thảo luận trong chương này và Chương 7, không gian "trống rỗng" nhung nhúc các cặp hạt và phản hạt ảo, chúng xuất hiện cùng nhau, chuyển động ra xa nhau rồi lại quay trở về để hủy nhau.

Như vậy, ta có thể coi cặp hạt này như một hạt duy nhất chuyển động theo một vòng kín trong không-thời gian. Khi cặp này chuyển động theo chiều tiến của thời gian, (từ sự kiện nó xuất hiện cho tới sự kiện nó bị hủy), nó được gọi là một hạt. Nhưng khi hạt này di chuyển giật lùi theo thời gian (từ sự kiện cặp này bị hủy đến sự kiện nó xuất hiện) thì nó được gọi là một phản hạt chuyển động theo chiều tiến của thời gian.

Sự giải thích các lỗ đen phát ra các hạt và bức xạ (xem Chương 7) là cho rằng một thành viên của cặp hạt/phản hạt (ví dụ như phản hạt) rơi vào một lỗ đen để thành viên kia bơ vơ không có đối tác để hủy nhau. Hạt bị bỏ rơi cũng có thể bị rơi vào lỗ đen, nhưng cũng có thể thoát ra từ vùng lân cận của lỗ đen. Nếu như vậy, thì đối với người quan sát ở xa dường như đã có một hạt được phát ra từ lỗ đen.

Tuy nhiên, người ta có một bức tranh trực quan khác nhưng tương đương về cơ chế phát xạ của lỗ đen. Người ta có thể coi thành viên của cặp ảo rơi vào lỗ đen (chẳng hạn, một phản hạt) như một hạt đi giật lùi theo thời gian ra khỏi lỗ đen. Khi nó đi tới điểm mà tại đó cặp hạt/phản hạt xuất hiện, thì nó bị tán xạ bởi trường hấp dẫn thành một hạt chuyển động theo thời gian và thoát ra ngoài lỗ đen. Nếu, thay vì, thành viên của cặp rơi vào lỗ đen là một hạt, thì ta có thể coi nó như một phản hạt chuyển động giật lùi theo thời gian và đi ra khỏi lỗ đen. Như vậy, sự bức xạ của lỗ đen chứng tỏ rằng lý thuyết lượng tử cho phép chuyển động ngược chiều thời gian ở thang vi mô và sự du hành theo thời gian như vậy có thể tạo ra những hiệu ứng quan sát được.

Từ đó người ta có thể đặt câu hỏi: Vậy lý thuyết lượng tử có cho phép du hành theo thời gian ở thang vĩ mô, mà con người có thể sử dụng được, hay không? Thoạt nhìn, dường như là có thể. Đề xuất lấy tổng theo các lịch sử của Feynman được giả thiết là theo *mọi* lịch sử. Như vậy, nó sẽ phải bao hàm cả những lịch sử trong đó không-thời gian bị uốn cong tới mức việc du hành về quá khứ là có thể. Thế nhưng tại sao chúng ta khi đó lại không còn gặp phiền phức với lịch sử nữa? Chẳng hạn như có ai đó đã quay trở về và trao cho bọn quốc xã Đức bí mật của bom nguyên tử thì sao?

Người ta có thể tránh được những vấn đề đó nếu cái mà tôi gọi là phỏng đoán bảo vệ niên đại là đúng. Giả thuyết này nói rằng các định luật vật lý kết hợp với nhau để ngăn cản các vật *vĩ mô* không được mang thông tin về quá khứ. Giống như phỏng đoán về sự kiểm duyệt vũ trụ, phỏng đoán này cũng không được chứng minh nhưng có những cơ sở để tin nó là đúng.

Lý do để tin rằng phỏng đoán bảo vệ niên đại vận hành được, đó là khi không-thời gian bị uốn cong đủ để làm cho chuyện du hành theo thời gian là có thể, thì các hạt ảo đang chuyển động theo các vòng khép kín trong không-thời gian có thể trở thành các hạt thực chuyển động tiến theo thời gian với vận tốc bằng hoặc nhỏ hơn vận tốc ánh sáng. Vì các hạt đó có thể đi quanh một vòng với số lần tùy ý, nên nó đi qua mỗi điểm trên hành trình của nó nhiều lần. Như vậy năng lượng của nó được đếm đi đếm lại và mật độ năng lượng trở nên rất lớn. Điều này có thể làm cho không-thời gian có độ cong dương và không cho phép du hành về quá khứ nữa. Hiện vẫn còn chưa rõ ràng về chuyện các hạt này sẽ gây ra

các độ cong dương hay âm hay độ cong tạo bởi một số loại hạt ảo có thể làm triệt tiêu độ cong tạo bởi một loại hạt ảo khác hay không. Như vậy khả năng du hành theo thời gian vẫn còn để ngỏ. Nhưng tôi sẽ không đánh cược về chuyện đó. Vì đối thủ của tôi có thể có một lợi thế bất công là đã biết tương lai.

11.

LÝ THUYẾT THỐNG NHẤT CỦA VẬT LÝ HỌC

Chúng ta đều biết xây dựng một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh của vạn vật trong vũ trụ là một việc vô cùng khó khăn. Song thay vì, chúng ta đã đạt nhiều tiến bộ trong việc xây dựng nhiều lý thuyết riêng phần có khả năng mô tả một tập hợp giới hạn nhiều hiện tượng bằng cách bỏ qua các hiệu ứng khác hoặc xấp xỉ chúng bằng một số đại lượng. (Ví dụ, hóa học cho phép chúng ta tính tương tác của các nguyên tử mà không cần biết cấu trúc nội tại của hạt nhân nguyên tử). Nhưng cuối cùng mà nói, người ta luôn hy vọng tìm ra một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh đúng đắn bao trùm lên tất cả các lý thuyết riêng phần như những phép gần đúng và không cần điều chỉnh cho phù hợp với thực nghiệm bằng cách chọn lựa giá trị của một số đại lượng tùy tiện trong lý thuyết. Sự tìm kiếm một lý thuyết như thế được gọi là sự tìm kiếm "lý thuyết thống nhất của vật lý". Einstein đã để phần lớn những năm cuối đời để tìm một lý thuyết thống nhất,

nhưng vô vọng vì thời điểm chưa chín mùi: lúc bấy giờ người ta đã có lý thuyết riêng phần của hấp dẫn, của điện từ nhưng người ta còn biết rất ít về lực hạt nhân. Hơn nữa Einstein lại phủ nhận thực tại của cơ học lượng tử, mặc dầu ông đã đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của nó. Mà nguyên lý bất định chắc chắn lại là một đặc thù cơ bản của vũ trụ ta đang sống. Vì vậy một lý thuyết thống nhất thành công phải chứa đựng nguyên lý này.

Như tôi sẽ trình bày, hiện nay triển vọng để tìm ra một lý thuyết như thế rất sáng sủa bởi vì chúng ta đã biết về vũ trụ khá nhiều. Song cũng phải cảnh giác về một niềm quá tự tin – chúng ta trước đây cũng đã từng có nhiều lần bất chợt những tia sáng giả tạo như vậy. Ví dụ vào đầu thế kỷ này, chúng ta đã từng nghĩ rằng mọi việc có thể giải thích nhờ các tính chất của môi trường liên tục như tính đàn hồi, tính dẫn nhiệt. Sự phát hiện cấu trúc nguyên tử và nguyên lý bất định đã kết liễu dòng tư tưởng này.

Sau đó lại một lần nữa, năm 1928 nhà vật lý giải Nobel Max Born đã phát biểu với một nhóm đến tham quan trường đại học Gottingen:

"Vật lý, như chúng ta đã quan niệm, sẽ kết thúc trong vòng 6 tháng". Niềm tin của Max Born dựa trên cơ sở sự phát hiện bởi Dirac phương trình mô tả chuyển động của êlectron. Người ta nghĩ rằng một phương trình tương tự cũng sẽ mô tả chuyển động của prôtôn, vốn là một hạt khác duy nhất được biết vào lúc bấy giờ, và điều đó có nghĩa là vật lý lý thuyết cáo chung. Nhưng sự phát hiện nơtrôn và lực hạt nhân đã làm thay đổi tất cả. Dẫu nói lên điều này, tôi vẫn tin

rằng đã có nhiều cơ sở cho một niềm lạc quan thận trọng rằng chúng ta hiện nay đang ở gần gian đoạn cuối trên quá trình tìm ra những định luật cơ bản của thiên nhiên.

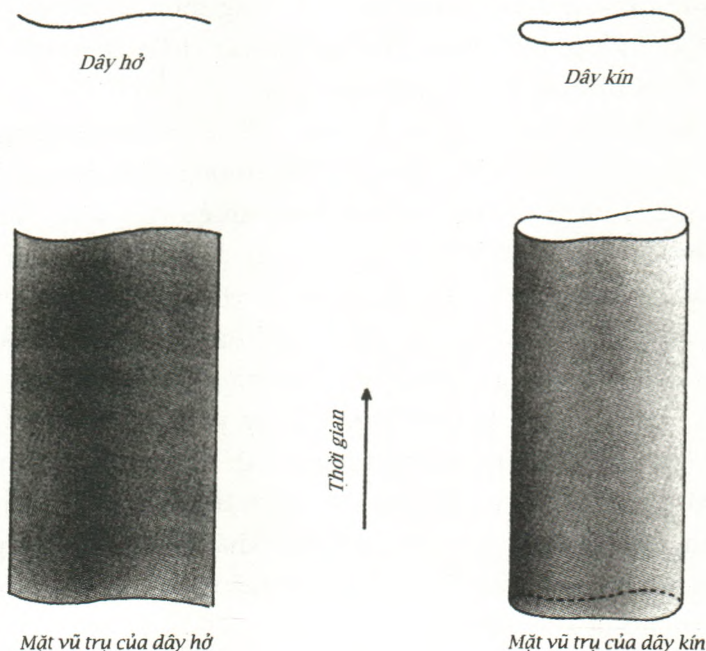
Trước đây tôi đã mô tả lý thuyết tương đối rộng vốn là lý thuyết riêng phần về hấp dẫn và những lý thuyết riêng phần khác về các tương tác yếu, mạnh và điện từ. Ba tương tác sau có thể tổng hợp lại thành lý thuyết thống nhất lớn (GUT), lý thuyết này không hoàn chỉnh vì nó không bao hàm hấp dẫn và vì nó chứa một số đại lượng, như khối lượng tương đối của nhiều hạt khác nhau, mà chúng ta không tiên đoán được từ lý thuyết mà phải chọn để có được kết quả phù hợp với thực nghiệm. Khó khăn chủ yếu trong quá trình tìm kiếm một lý thuyết có khả năng thống nhất hấp dẫn với các tương tác khác là lý thuyết tương đối rộng –một lý thuyết "cổ điển", có nghĩa là lý thuyết này không chứa đựng nguyên lý bất định của cơ học lượng tử. Mặt khác, các lý thuyết riêng phần khác lại phụ thuộc thiết yếu vào cơ học lượng tử. Vì vậy bước đầu tiên cần thiết là kết hợp lý thuyết tương đối rộng với nguyên lý bất định. Như chúng ta đã thấy, điều này có thể dẫn đến một số hệ quả khá thú vị như các lỗ đen không quá là đen, và vũ trụ không có điểm kỳ dị nào, nó là tự thân và không có biên. Nhưng như đã giải thích trong Chương 7, khó khăn là ở chỗ, nguyên lý bất định đưa đến kết quả là "chân không" cũng chứa đầy các cặp ảo hạt và phản hạt. Những cặp này có một năng lượng vô cùng lớn và vì vậy chúng có một khối lượng lớn vô cùng theo phương trình nổi tiếng của Einstein $E=mc^2$. Lực hút hấp dẫn của chúng sẽ uốn cong vũ trụ vào một kích thước vô cùng bé.

Tương tự như thế, những đại lượng vô cùng lớn vô nghĩa cũng xuất hiện trong các lý thuyết riêng phần khác, song trong tất cả các trường hợp, những đại lượng này đều có thể loại bỏ nhờ quá trình gọi là tái chuẩn hóa. Quá trình này loại bỏ những đại lượng vô cùng lớn bằng cách đưa vào những đại lượng khác cũng lớn vô cùng. Mặc dầu kỹ thuật đáng ngờ về mặt toán học nhưng tỏ ra hữu hiệu về mặt thực hành và được sử dụng trong các lý thuyết đó để đưa ra các tiên đoán lý thuyết phù hợp với thực nghiệm với một độ chính xác kỳ diệu. Song phép tái chuẩn hóa chứa một khiếm khuyết nghiêm trọng xét từ quan điểm đi tìm một lý thuyết hoàn chỉnh, bởi vì rằng theo phép này thì giá trị của các khối lượng và cường độ các tương tác không thể tiên đoán từ lý thuyết mà phải được chọn sao cho phù hợp với thực nghiệm.

Để đưa nguyên lý bất định vào lý thuyết tương đối rộng, chúng ta chỉ có hai đại lượng có thể hiệu chỉnh: hằng số hấp dẫn và hằng số vũ trụ. Song hiệu chỉnh chúng cũng chưa đủ để loại trừ tất cả các đại lượng vô cùng lớn. Như vậy người ta đi đến một lý thuyết trong đó một số đại lượng, như độ cong của không-thời gian, quả là lớn vô cùng, song ta phải quan sát và đo được chúng như những đại lượng hữu hạn hoàn toàn! Vấn đề kết hợp lý thuyết tương đối rộng với nguyên lý bất định đã bị nghi ngờ trong một thời gian nhưng cuối cùng được xác nhận nhờ những tính toán chi tiết vào năm 1972. Bốn năm sau, một lời giải, gọi là "siêu hấp dẫn" được đưa ra. Ý tưởng của siêu hấp dẫn là kết hợp hạt spin 2 gọi là graviton, lượng tử truyền lực hấp dẫn, với những hạt mới khác có spin 3/2, 1, 1/2 và 0. Theo một nghĩa nào đó, tất cả những hạt này có thể được xem là

những trạng thái khác nhau của cùng một "siêu hạt", như thế ta thống nhất được những hạt vật chất có spin 1/2 và 3/2 với những hạt truyền tương tác có spin 0, 1 và 2. Cặp ảo hạt/phản hạt có spin 1/2 và 3/2 sẽ có năng lượng âm, và như thế sẽ triệt tiêu năng lượng dương của các cặp ảo có spin 2, 1 và 0. Điều này loại được nhiều đại lượng lớn vô cùng, song một số đại lượng như vậy có thể còn sót lại. Tuy nhiên, những phép tính cần thiết để chứng minh có còn sót lại một số đại lượng như thế hay không là quá khó và quá dài đến nỗi không ai sẵn sàng thực hiện chúng. Ngay cả với máy tính, người ta ước lượng cũng phải cần ít nhất bốn năm, và xác suất phạm một phép tính sai hoặc có thể nhiều hơn, là rất lớn. Vì vậy người ta dám tin rằng mình đã tính đúng chỉ khi nào có một người nào khác lặp lại những phép tính đó và cũng thu được một kết quả tương tự và điều này xem chừng khó xẩy ra.

Dẫu có những vấn đề đó và thực tế các hạt trong lý thuyết siêu hấp dẫn xem chừng không tương thích với các hạt quan sát được, nhưng đa số các nhà vật lý tin tưởng rằng siêu hấp dẫn có nhiều xác suất là câu trả lời đúng đắn cho bài toán lý thuyết thống nhất của vật lý. Hình như đây là con đường tốt nhất để thống nhất hấp dẫn với các tương tác khác. Song đến năm 1984 thì ý kiến thay đổi nghiêng về cái gọi là những lý thuyết dây. Trong lý thuyết dây, những đối tượng cơ bản không phải là các hạt, vốn chỉ chiếm một điểm không gian, mà là một thực thể có độ dài và không có chiều nào khác, giống như một sợi dây vô cùng mảnh. Những sợi dây này có thể có mút (gọi là dây hở) hoặc chúng có các mút trùng nhau để tạo thành một vòng (gọi là dây kín) (xem các Hình 11.1 và 11.2).



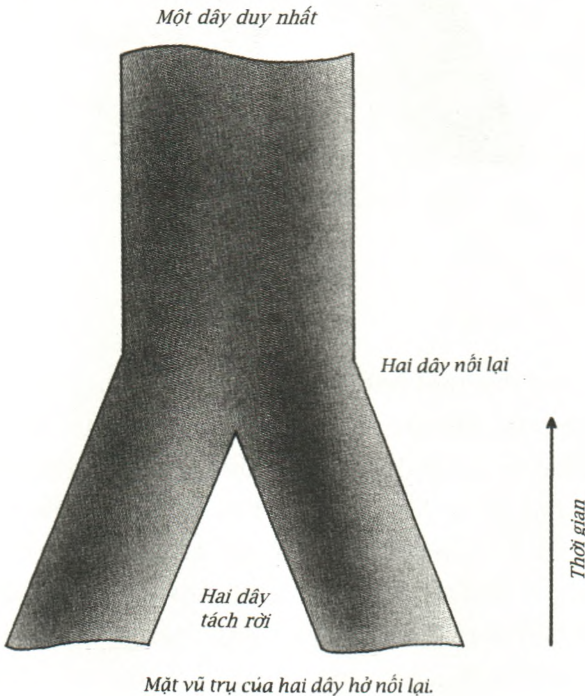
Hình 11.1 và 11.2

Tại mỗi thời điểm, mỗi hạt chiếm một điểm không gian. Như thế lịch sử của nó có thể biểu diễn được bởi một đường trong không-thời gian (gọi là "đường vũ trụ"). Còn một dây thì tại mỗi thời điểm chiếm một đường trong không gian. Vì vậy lịch sử của nó là một mặt hai chiều gọi là mặt vũ trụ (mỗi điểm trên mặt vũ trụ như thế được mô tả bởi hai số: một số xác định thời gian còn số kia xác định vị trí của điểm trên dây). Mặt vũ trụ của một dây hở là một dải; hai mép của dải biểu diễn đường đi của hai đầu dây trong không-thời gian (H.11.1). Mặt vũ trụ của một dây kín là một ống hình trụ

(H.11.2) với lát cắt qua ống là một đường cong kín mô tả vị trí của dây tại một thời điểm.

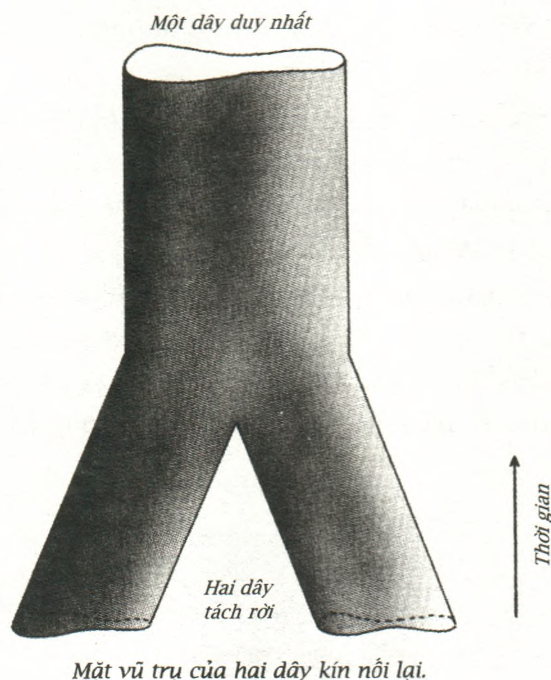
Hai dây có thể nối với nhau thành một dây; trong trường hợp dây hở chúng nối nhau tại điểm mút (H.11.3), trong trường hợp dây kín thì chúng nối với nhau như hai ống may lại với nhau trong một cái quần (H.11.4).

Tương tự như vậy, một dây có thể phân thành hai dây. Trong lý thuyết dây, thực thể trước đây được xem như là hạt thì giờ đây được biểu diễn như những sóng chạy dọc theo dây, giống như những sóng trên một dây đàn rung. Quá trình bức



Mặt vũ trụ của hai dây hở nối lại.

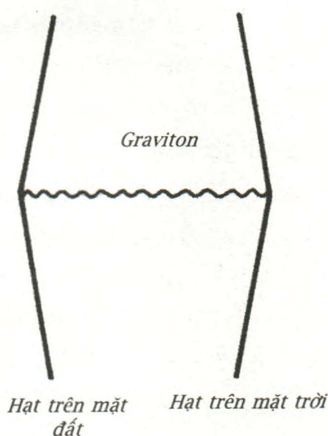
Hình 11.3



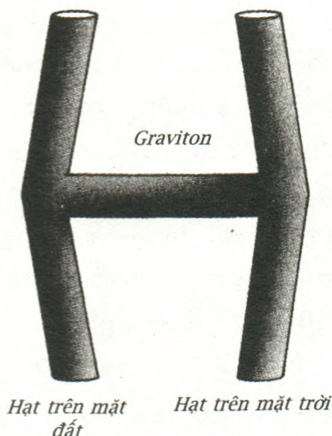
Mặt vũ trụ của hai dây kín nối lại.

Hình 11.4.

xạ hoặc hấp thụ một hạt bởi một hạt khác ứng với quá trình phân chia hoặc nối các dây với nhau. Ví dụ, lực hấp dẫn của Mặt trời lên Trái đất được hình dung trong lý thuyết hạt như sau: một hạt trong Mặt trời phát ra một hạt graviton và hạt graviton đó bị hấp thụ bởi một hạt trong Trái đất (H.11.5). Còn trong lý thuyết dây, quá trình này ứng với một ống có dạng hình chữ H (H.11.6). Hai ống thẳng đứng của chữ H ứng với các hạt của Mặt trời và của Trái đất, còn ống ngang ứng với hạt graviton chuyển động giữa các hạt trên.



Hình 11.5



Hình 11.6

Lý thuyết dây có một lược sử khá lý thú. Đầu tiên, vào cuối những năm 60, lý thuyết dây được xây dựng để mô tả tương tác mạnh. Tư tưởng xuất phát là các hạt như prôtôn và nơtrôn có thể xem như sóng của một dây. Lực tương tác mạnh giữa các hạt sẽ được mô tả bởi những đoạn nối giữa các dây như trong một mạng nhện. Để lý thuyết này cho những trị số quan sát được của tương tác mạnh giữa các hạt, các dây này phải giống như những dây cao su với lực căng khoảng mười tấn.

Năm 1974, Joel Scherk ở Paris và John Schwarz ở Viện Công nghệ California công bố một bài báo chỉ ra rằng lý thuyết dây có thể mô tả lực hấp dẫn nếu lực căng của dây lớn hơn nhiều, khoảng nghìn triệu triệu triệu triệu triệu triệu (1 với 39 số không) tấn. Những tiên đoán của lý thuyết dây trùng với những tiên đoán của lý thuyết tương đối rộng

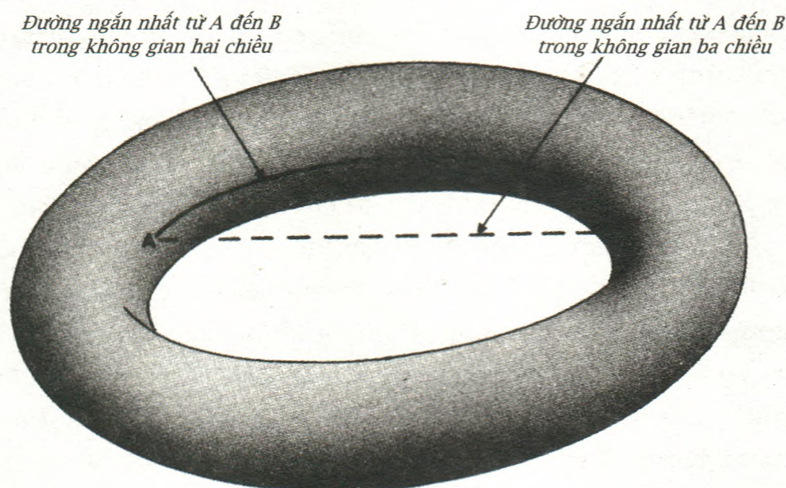
ở các độ dài bình thường, song khác nhau ở các khoảng cách cực bé, nhỏ hơn một phần nghìn triệu triệu triệu triệu triệu centimét (1 centimet chia cho 1 với 33 số không). Song công trình của hai tác giả trên không nhận được sự chú ý đặc biệt, bởi vì vào đúng khoảng thời gian đó đa số từ bỏ lý thuyết dây của tương tác mạnh để theo đuổi lý thuyết quark và gluon vì lý thuyết sau có vẻ phù hợp với những quan sát thực nghiệm hơn nhiều. Scherk chết trong hoàn cảnh bi thảm (ông bị bệnh đái đường, rơi vào trạng thái hôn mê khi không có một ai bên cạnh để chích cho ông một mũi insulin). Như thế chỉ còn lại Schwarz là người duy nhất bênh vực cho lý thuyết dây, nhưng bây giờ với một trị số giả định cao hơn nhiều của lực căng.

Năm 1984 sự quan tâm đến lý thuyết dây đột ngột được tái sinh, vì hai lý do. Lý do thứ nhất là thực tế người ta không thu được tiến bộ gì nhiều trong việc chứng minh rằng siêu hấp dẫn là hữu hạn hoặc siêu hấp dẫn có khả năng giải thích các loại hạt mà chúng ta quan sát được. Lý do thứ hai là sự ra đời bài báo của John Schwarz và Mike Green ở Đại học Nữ hoàng Mary, London chứng minh rằng lý thuyết dây có thể giải thích sự tồn tại các hạt xoắn trái nội tại đã được quan sát. Dẫu lý do thế nào đi nữa, một số đông đã lao vào lý thuyết dây, và một phương án mới được phát triển, cái gọi là dây hỗn hợp (heterotic), phương án này dường như giải thích được các loại hạt quan sát.

Lý thuyết dây cũng dẫn đến những đại lượng vô hạn, song người ta nghĩ rằng chúng sẽ bị loại trừ trong những phương án như dây hỗn hợp (mặc dầu hiện nay điều đó chưa chắc

chắn). Tuy nhiên, lý thuyết dây cũng có vấn đề: lý thuyết này chỉ đúng nếu không-thời gian có hoặc mười hoặc hai mươi sáu chiều, chứ không phải là bốn. Các chiều không gian phụ sẽ là cơ sở cho khoa học viễn tưởng: thực vậy, các chiều đó có khi là cần thiết, nếu không có chúng thì chắc chắn phải có một thời gian rất lớn để đi đến được các sao và thiên hà vì thuyết tương đối buộc rằng chúng ta không thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Ý tưởng khoa học viễn tưởng là hy vọng chúng ta có thể tìm được một quỹ đạo tắt theo một chiều phụ. Ta có thể hình dung được điều này như sau. Hãy tưởng tượng rằng không-thời gian trong đó chúng ta sống chỉ có hai chiều và cong như một mặt hình xuyến (H.11.7). Nếu bạn ở điểm A và muốn đi đến điểm B thì bạn phải đi theo đường AMB trên mặt xuyến. Song nếu có chiều thứ ba thì bạn có thể du hành theo chiều đó dọc đường AEB nhiều lần ngắn hơn AMB.

Tại sao chúng ta không cảm nhận được các chiều phụ đó, nếu quả thật chúng tồn tại? Tại sao chúng ta chỉ thấy được ba chiều không gian và một chiều thời gian? Một gợi ý giải thích điều đó là các chiều phụ bị uốn cong thành một không gian có kích thước rất nhỏ, cỡ một phần triệu triệu triệu triệu triệu insơ. Không gian này quá nhỏ nên chúng ta không thấy được: chúng ta chỉ thấy thời gian một chiều và không gian ba chiều, trong đó không-thời gian gần như phẳng. Điều này giống như mặt một quả cam: nếu như bạn nhìn gần sát bạn sẽ thấy những chỗ cong và nhăn nheo, song nếu bạn nhìn từ một khoảng cách xa, bạn sẽ không thấy những chỗ lồi lõm và mặt quả cam gần như trơn tru. Đối với không-thời gian



Hình xuyến.

Hình 11.7

cũng vậy: ở một kích thước bé ta có một không gian mười chiều, có độ cong lớn, song ở những kích thước lớn hơn bạn sẽ không thấy độ cong hoặc các chiều phụ. Nếu bức tranh đó là đúng thì sẽ là khó khăn cho những người muốn du hành vào vũ trụ: các chiều phụ quá bé để cho con tàu vũ trụ có thể qua lọt. Tại sao chỉ có một số chiều, chứ không phải tất cả, bị cuốn cong thành một quả cầu nhỏ? Có thể đoán chừng rằng trong những giai đoạn sớm của vũ trụ, tất cả các chiều đều bị uốn cong rất nhiều. Nhưng tại sao lại chỉ có một chiều thời gian và ba chiều không gian mở phẳng ra, còn các chiều khác thì vẫn ở trong trạng thái bị uốn cong?

Một câu trả lời là nguyên lý vị nhân. Một không gian hai chiều không đủ để cho phép hình thành những sinh vật

phức tạp như con người. Ví dụ, những sinh vật hai chiều sống trên một không gian một chiều phải trèo qua nhau để vượt nhau. Nếu một sinh vật hai chiều ăn một vật gì thì vật đó không thể tiêu hóa hoàn toàn được, sinh vật đó phải đưa phần không tiêu hóa được ra đằng mồm bởi vì nếu có một đường tiêu hóa xuyên qua cơ thể thì đường này sẽ phân cơ thể sinh vật thành hai nửa riêng biệt: và sinh vật hai chiều sẽ phải rã thành hai mảnh (H.11.8). Tương tự như vậy, thật khó mà hình dung được bất kỳ một hệ tuần hoàn máu nào trong cơ thể một sinh vật hai chiều.

Nhiều vấn đề sẽ nảy sinh với một không gian có nhiều hơn ba chiều. Lực hấp dẫn giữa hai vật sẽ giảm nhanh với khoảng cách hơn là trong không gian ba chiều. (Trong không gian ba



Động vật hai chiều

Hình 11.8

chiều lực hấp dẫn giảm 1/4 lần nếu khoảng cách tăng lên gấp đôi. Trong không gian bốn chiều, nó giảm 1/8 lần, trong không gian năm chiều, 1/16 lần và cứ như vậy). Sự giảm nhanh đó dẫn đến quỹ đạo của các hành tinh, như quả đất, xung quanh Mặt trời sẽ không ổn định: một nhiễu loạn nhỏ khỏi quỹ đạo tròn (nhiễu loạn gây ra bởi lực hấp dẫn của các hành tinh khác) cũng sẽ làm cho quả đất chuyển động theo đường xoắn ốc đi ra xa hoặc rơi vào Mặt trời. Chúng ta sẽ bị thiêu cháy hoặc chết cóng. Trong một không gian có số chiều lớn hơn ba, dáng điệu của hấp dẫn theo khoảng cách cũng không cho phép Mặt trời tồn tại trong một trạng thái ổn định với áp suất cân bằng hấp dẫn. Mặt trời hoặc sẽ rã ra hoặc co lại thành một lỗ đen. Trong tất cả các trường hợp trên, Mặt trời sẽ không còn là nguồn nhiệt và ánh sáng vốn cần thiết cho sự sống trên Trái đất. Ở thang nhỏ hơn, các lực điện buộc các êlectron quay quanh hạt nhân nguyên tử cũng xử sự theo cách hệt như lực hấp dẫn. Như vậy hoặc các electrôn cũng thoát ra khỏi nguyên tử hoặc rơi theo đường xoắn ốc vào hạt nhân. Do đó chúng ta không thể có các nguyên tử mà chúng ta đã quan sát được.

Vậy rõ ràng cuộc sống, như chúng ta nhận thức, chỉ có thể tồn tại trong những vùng của không-thời gian ở đó một chiều thời gian và ba chiều không gian không bị uốn cong nhỏ lại. Điều này có nghĩa là chúng ta cần phải cầu cứu đến nguyên lý vị nhân yếu, miễn là chúng ta chứng minh được rằng lý thuyết dây ít nhất cho phép sự tồn tại của những vùng như thế trong vũ trụ – và thực tế hình như lý thuyết dây đã cho phép. Có thể tồn tại những vùng khác

của vũ trụ, hoặc những vũ trụ khác (theo bất cứ ý nghĩa nào), trong đó tất cả các chiều đều bị uốn cong nhỏ lại hoặc trong đó có nhiều hơn bốn chiều gần như phẳng, song tiếc thay ở đây không thể tồn tại một sinh vật có trí tuệ nào để quan sát số các chiều khác đó.

Một vấn đề khác là lại ít nhất có tới bốn lý thuyết dây khác nhau (một lý thuyết dây hở và ba lý thuyết dây kín) và hàng triệu cách cuộn nhỏ lại của các chiều phụ theo tiên đoán của lý thuyết dây. Vậy thì tại sao lại phải chọn chỉ một lý thuyết dây và một loại cuộn nhỏ lại? Một thời gian, dường như không có câu trả lời. Sau đó, vào khoảng năm 1994, người ta mới bắt đầu phát hiện ra cái được gọi là sự đối ngẫu: các lý thuyết dây khác nhau và các cách cuộn khác nhau của các chiều phụ có thể dẫn tới cùng một kết quả trong bốn chiều. Hơn nữa, cũng như các hạt chỉ chiếm một điểm trong không gian, các dây là các đường, còn có các đối tượng khác gọi là *p-brane* là các mặt hai chiều (màng) hoặc các mặt có số chiều cao hơn (một hạt được coi như là 0-brane, một dây là 1-brane, nhưng cũng có các *p-brane*, với p = 2 tới 9). Cái mà điều đó chỉ ra là có một loại "dân chủ" trong các lý thuyết siêu hấp dẫn, lý thuyết dây và lý thuyết *p-brane*: các lý thuyết này ăn khớp với nhau, nhưng không lý thuyết nào được nói là cơ bản hơn lý thuyết nào. Hóa ra, chúng là các phép gần đúng khác nhau của một lý thuyết cơ bản nào đó, là đúng trong các tình huống khác nhau.

Người ta đã tìm kiếm gắt gao cái lý thuyết cơ bản đó, nhưng cho tới nay vẫn không thành công. Tuy nhiên, tôi tin rằng sẽ không có một cách phát biểu duy nhất của lý thuyết

cơ bản, cũng như Goden đã chứng minh, không thể phát biểu toàn bộ số học qua một tập hợp các tiên đề duy nhất. Thay vì, cũng giống như các bản đồ, bạn không thể dùng một bản đồ duy nhất để mô tả bề mặt Trái đất: bạn phải cần ít nhất hai bản đồ mới phủ kín các điểm. Mỗi bản đồ chỉ dùng được cho một vùng hạn chế, nhưng các bản đồ khác nhau thể nào cũng sẽ có một vùng trùng nhau. Tập hợp các bản đồ này cho ta một sự mô tả đầy đủ bề mặt Trái đất. Tương tự, trong vật lý, cũng cần phải dùng các cách phát biểu khác nhau trong những tình huống khác nhau, nhưng hai cách phát biểu khác nhau cũng sẽ nhất trí trong các tình huống mà cả hai cách phát biểu đều áp dụng được. Toàn bộ tập hợp các cách phát biểu khác nhau đó mới có thể được coi như một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, mặc dù người ta không thể diễn đạt nó qua một hệ tiên đề duy nhất.

Mặt khác, có thực tồn tại một lý thuyết thống nhất như thế hay không? Hay là chúng ta chỉ đang săn đuổi một ảo ảnh? Có thể có ba khả năng:

1. Quả thực tồn tại một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, mà chúng ta một ngày nào đó sẽ phát minh ra nếu chúng ta có đủ tài năng.
2. Không tồn tại một lý thuyết tối hậu của vũ trụ, chỉ tồn tại một chuỗi vô hạn các lý thuyết mô tả vũ trụ ngày càng chính xác.
3. Không tồn tại một lý thuyết nào về vũ trụ; các sự cố không thể tiên đoán vượt quá một giới hạn nào đó, chúng xẩy ra một cách ngẫu nhiên và tùy tiện.

Một số người muốn biện minh cho khả năng thứ ba dựa trên cơ sở cho rằng nếu có một tập hợp đầy đủ các định luật thì sẽ xâm phạm tới quyền tự do thay đổi ý nghĩ và tự do can thiệp vào thế giới của Chúa. Điều này nghe tựa như một nghịch lý xưa cũ: liệu Chúa có thể tạo ra hòn đá nặng tới mức mà Người không thể nhấc nổi lên không? Nhưng ý tưởng cho rằng Chúa có thể muốn thay đổi ý nghĩ của mình là một ví dụ của sự ngụy biện cho việc hình dung Chúa như một sinh vật tồn tại trong thời gian, mà St. Augustine đã chỉ ra: thời gian là một tính chất chỉ của Vũ trụ do Chúa tạo ra. Có lẽ Người đã biết cái mà Người dự định khi xếp đặt nó.

Với sự ra đời của cơ học lượng tử, chúng ta phải thừa nhận rằng các sự cố không thể được tiên đoán với độ chính xác hoàn toàn mà luôn tồn tại một độ bất định. Nếu muốn, người ta có thể gán sự ngẫu nhiên đó cho sự can thiệp của Chúa, song đấy quả là một loại can thiệp kỳ lạ: không có một chứng cứ gì cho thấy sự can thiệp đó được định hướng đến bất kỳ một mục đích nào. Thực vậy, nếu có một mục đích, thì sẽ không còn là ngẫu nhiên nữa. Trong thời đại hiện nay, chúng ta đã loại bỏ hữu hiệu khả năng thứ ba bằng cách định nghĩa lại mục đích của khoa học: mục tiêu của khoa học là xây dựng một bộ định luật có khả năng cho phép chúng ta tiên đoán các sự cố chỉ trong giới hạn xác định bởi nguyên lý bất định.

Khả năng thứ hai, khả năng tồn tại một chuỗi vô hạn các lý thuyết ngày càng tinh tế, rất phù hợp với toàn bộ kinh nghiệm của chúng ta cho tới nay. Nhiều lần chúng ta đã tăng độ nhạy các phép đo và thực hiện nhiều loại thí

nghiệm mới chỉ với mục đích phát hiện những hiện tượng mới không tiên đoán được bởi lý thuyết hiện có và để mô tả những hiện tượng đó chúng ta phải phát triển một lý thuyết tiên tiến hơn. Vì vậy không có gì đáng ngạc nhiên nếu thế hệ hiện tại các lý thuyết thống nhất phạm sai lầm khi khẳng định rằng không có điều gì căn bản mới xảy ra giữa năng lượng cỡ 100GeV của lý thuyết thống nhất điện-yếu và năng lượng cỡ ngàn triệu triệu GeV của lý thuyết thống nhất lớn. Thực tế, chúng ta có thể hy vọng sẽ tìm ra nhiều tầng cấu trúc mới cơ bản hơn quark và êlectron mà hiện nay được xem như là những hạt "cơ bản".

Song dường như hấp dẫn có thể cung cấp một giới hạn cho chuỗi các "hộp trong hộp" đó. Nếu ta có một hạt với năng lượng lớn hơn cái gọi là năng lượng Planck, mười triệu triệu triệu GeV (1 theo sau là 19 số không), thì khối lượng của nó có một độ tập trung đến mức nó tự cô lập tách khỏi phần vũ trụ còn lại và biến thành một lỗ đen nhỏ. Như vậy dường như chuỗi các lý thuyết ngày càng tinh tế đó phải có một giới hạn khi chúng ta tiếp cận với những năng lượng ngày càng cao, và ắt phải có một lý thuyết tối hậu về vũ trụ. Lẽ dĩ nhiên, năng lượng Planck là cả một quãng đường dài kể từ những năng lượng cỡ nghìn GeV mà hiện nay là năng lượng lớn nhất chúng ta có khả năng tạo ra trong phòng thí nghiệm. Chúng ta chưa vượt qua được hố ngăn cách đó trong một tương lai gần nhờ những máy gia tốc! Nhưng những giai đoạn sơ sinh của vũ trụ đã từng chứng kiến những năng lượng như vậy. Tôi nghĩ rằng có nhiều cơ may là sự nghiên cứu những giai đoạn sớm của vũ trụ kết hợp với những đòi hỏi chặt chẽ của

toán học sẽ dẫn chúng ta đến một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh trong giới hạn cuộc đời của nhiều người chúng ta.

Nếu chúng ta thực sự tìm ra được một lý thuyết tối hậu về vũ trụ, thì điều đó có ý nghĩa như thế nào? Như đã được giải thích trong Chương I, chúng ta không bao giờ có thể chắc chắn hoàn toàn rằng quả là chúng ta đã tìm ra được một lý thuyết đúng đắn, vì các lý thuyết thì không thể chứng minh như một định lý toán học được. Song nếu lý thuyết chặt chẽ về mặt toán học và luôn đưa ra được những tiên đoán phù hợp với quan sát, thì chúng ta có thể tin một cách hợp lý rằng đó là một lý thuyết đúng đắn. Nó sẽ kết thúc một chương dài và vinh quang trong lịch sử đấu tranh trí tuệ của con người để tìm hiểu vũ trụ. Đồng thời nó cũng cách mạng hóa sự hiểu biết các định luật chi phối vũ trụ của con người bình thường. Thời Newton một người có giáo dục rất có thể nắm được toàn bộ kiến thức của nhân loại, ít nhất là trong những nét cơ bản. Song sau đó nhịp độ phát triển của khoa học làm cho khả năng trên không còn nữa. Vì rằng các lý thuyết luôn thay đổi để phù hợp với những quan sát mới, chúng không thể đơn giản hóa để một người bình thường có thể hiểu thấu. Bạn phải là một chuyên gia, và dẫu là một chuyên gia bạn cũng chỉ hy vọng nắm bắt được một phần các lý thuyết khoa học. Ngoài ra, khoa học tiến nhanh tới mức mà những kiến thức thu nhận được ở học đường cũng luôn luôn bất cập với thời đại. Chỉ một số ít người theo kịp được ranh giới tiền tiêu của kiến thức và số người đó cũng phải dùng toàn bộ số thời gian để làm việc và chuyên sâu vào một lĩnh vực nhỏ. Số đông còn lại ít có khái niệm về những thành tựu tiên tiến của khoa học

và những vấn đề lý thú nảy sinh từ đó. Bảy mươi năm về trước, nếu tin lời Eddington, thì chỉ có hai người hiểu được lý thuyết tương đối rộng. Ngày nay hàng vạn sinh viên đại học hiểu được và hàng triệu người ít nhất đã làm quen với lý thuyết đó. Nếu một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh được phát minh, thì chỉ còn là vấn đề thời gian để lý thuyết đó được thấu triệt rồi đơn giản hóa và giảng dạy trong nhà trường ít nhất là những nét cơ bản. Và mọi người chúng ta sẽ đủ khả năng có được một kiến thức nhất định về những định luật trị vì vũ trụ và điều hành cuộc sống của chúng ta.

Ngay nếu chúng ta tìm được một lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, điều đó cũng không có nghĩa rằng chúng ta có khả năng tiên đoán mọi sự cố nói chung, vì hai lẽ. Thứ nhất do giới hạn mà nguyên lý bất định của cơ học lượng tử áp đặt lên mọi khả năng tiên đoán của chúng ta. Chúng ta không thể làm được gì để vượt qua giới hạn đó. Song trong thực tiễn giới hạn thứ nhất đó còn ít ràng buộc hơn giới hạn sau đây. Vấn đề là ở chỗ chúng ta không thể giải được các phương trình của lý thuyết một cách tuyệt đối chính xác, trừ vài trường hợp rất đơn giản. (Chúng ta không thể giải chính xác ngay cả chuyển động ba vật trong lý thuyết hấp dẫn của Newton, và khó khăn sẽ tăng lên cùng với số vật tham gia chuyển động và mức độ phức tạp của lý thuyết). Chúng ta đã biết nhiều định luật chi phối vật chất dưới những điều kiện cực đoan nhất. Nói riêng, chúng ta đã biết những định luật cơ bản chi phối toàn bộ hóa học và sinh học. Nhưng chắc chắn chúng ta không thể quy các đối tượng đó về tập hợp của những bài toán đã giải được; đến nay chúng ta đạt được

quá ít tiến bộ trong việc tiên đoán hành vi con người từ những phương trình toán học! Vì vậy ngay lúc chúng ta tìm ra được một bộ hoàn chỉnh các định luật cơ bản, cũng cần nhiều năm trong tương lai để thách đố trí tuệ con người tìm ra những phương pháp gần đúng hữu hiệu hơn để có thể đưa ra những tiên đoán có ích về những hệ quả khả dĩ trong những tình huống thực tiễn và phức tạp. Một lý thuyết thống nhất chặt chẽ và hoàn chỉnh, chỉ mới là bước đầu: mục tiêu của chúng ta là một *sự hiểu biết* hoàn chỉnh về mọi sự cố diễn ra xung quanh và về chính bản thân sự tồn tại của chúng ta.

12.

KẾT LUẬN

Chúng ta ở trong một thế giới đang làm chúng ta phải trầm tư suy nghĩ. Chúng ta muốn gán cho mọi vật xung quanh chúng ta một ý nghĩa nào đó và tự hỏi bản chất của vũ trụ là gì? Chúng ta đóng vai trò gì trong vũ trụ và chúng ta từ đâu tới? Tại sao vũ trụ lại như thế này?

Để trả lời những câu hỏi đó chúng ta hãy chọn một "bức tranh của vũ trụ". Một bức tranh là hình ảnh của vô số con rùa chở trên lưng một mặt đất phẳng, còn bức tranh khác có thể là lý thuyết siêu dây. Cả hai đều là những lý thuyết về vũ trụ, song lý thuyết thứ hai toán học hơn và chính xác hơn. Cả hai lý thuyết đều thiếu cơ sở thực nghiệm: chưa ai thấy con rùa khổng lồ mang mặt đất trên lưng và cũng chưa ai thấy được một siêu dây. Song lý thuyết rùa không thể đứng vững như một lý thuyết khoa học vì theo thuyết này thì chúng ta có thể bị rơi từ vùng biên của thế giới. Điều này không phù hợp với thực nghiệm, nếu không hóa ra đó lại là cách giải thích cho hiện tượng nhiều người được giả định là biến mất trong tam giác Bermuda!

Nhiều lý thuyết trước đây nhằm mô tả và giải thích vũ trụ gắn liền với ý tưởng cho rằng các sự cố và hiện tượng thiên nhiên đều được điều hành bởi thần linh, do đó mang sắc thái cảm tính và không có khả năng tiên đoán. Các thần linh sống giữa những vật thể như sông, núi, kể cả các tinh cầu như Mặt trăng, Mặt trời. Con người phải cảm tạ và cầu xin thần linh để đất đai được phì nhiêu, mưa thuận gió hòa. Song dần dần, người ta nhận thấy được một số quy luật: Mặt trời luôn mọc ở phương Đông và lặn ở phương Tây bất kể là người ta có dâng vật hy sinh cho thần Mặt trời hay không. Hơn nữa, Mặt trời, Mặt trăng và các hành tinh khác luôn chuyển động theo những quỹ đạo nhất định mà người ta có thể tính toán được trước với một độ chính xác rất cao. Mặt trời và Mặt trăng có thể vẫn là những thần linh, song những thần linh này luôn tuân thủ các định luật rất nghiêm ngặt, không ngoại lệ, nếu ta không tin vào những truyền thuyết như Mặt trời đã dừng lại cho Joshua.

Ban đầu những hiện tượng bình thường và những quy luật như thế chỉ quan sát được trong một số lĩnh vực như thiên văn học và trong một số tình huống khác. Song lúc văn minh loài người càng tiến hóa và đặc biệt trong 300 năm gần đây, nhiều định luật đã được phát hiện. Sự thành công trong việc ứng dụng các định luật đó đã dẫn Laplace ở đầu thế kỷ 19 thiết lập thuyết quyết định luận, với nội dung khẳng định rằng dựa trên các định luật chúng ta có thể xác định được sự tiến triển của vũ trụ một cách chính xác khi biết cấu hình của vũ trụ tại một thời điểm.

Quyết định luận của Laplace không hoàn chỉnh ở hai điểm. Luận thuyết đó chưa nói rõ phải chọn các định luật

như thế nào và không xác định được cấu hình ban đầu của vũ trụ. Các điểm đó thuộc phần của Chúa. Chúa sẽ chọn vũ trụ bắt đầu như thế nào, những định luật nào mà vũ trụ phải tuân theo, nhưng Chúa không can thiệp vào vũ trụ nữa, một khi vũ trụ đã bắt đầu. Thực ra, Chúa chỉ giới hạn vào những lĩnh vực mà khoa học thế kỷ 19 chưa hiểu được.

Hiện nay thì chúng ta đã biết các niềm hy vọng về một quyết định luận của Laplace không thể là hiện thực được, ít nhất là theo những quan điểm của ông. Nguyên lý bất định của cơ học lượng tử buộc rằng một số cặp các đại lượng liên hợp, như vị trí và vận tốc của một hạt, không thể tiên đoán đồng thời một cách hoàn toàn chính xác.

Cơ học lượng tử giải quyết tình huống này thông qua lý thuyết lượng tử trong đó hạt không thể đồng thời có vị trí và vận tốc xác định, ở đây hạt được biểu diễn bởi một sóng. Những lý thuyết lượng tử là tất định với ý nghĩa rằng chúng đưa ra những định luật xác định sự tiến triển của sóng theo thời gian. Như thế khi biết sóng tại một thời điểm thì người ta có thể tính sóng tại bất cứ thời điểm nào. Điều không tiên đoán được và mang tính xác suất chỉ xuất hiện khi ta muốn đoán nhận sóng để biết vị trí và vận tốc của hạt. Nhưng có lẽ đây là một sai lầm của chúng ta: rất có thể không tồn tại vị trí, vận tốc của hạt mà chỉ tồn tại các sóng. Chẳng qua là chúng ta muốn làm ứng sóng với các tiền niệm của chúng ta về vị trí và vận tốc. Cho nên sự khó khăn trong việc đoán nhận nói trên là nguyên nhân của tính không thể tiên đoán biểu kiến của lý thuyết lượng tử.

Quả vậy, chúng ta đã định nghĩa lại nhiệm vụ của khoa học là phát kiến những định luật cho phép chúng ta tiên đoán

các sự kiện tới độ chính xác quyết định bởi nguyên lý bất định. Những câu hỏi còn lại là: các định luật và trạng thái ban đầu của vũ trụ đã được chọn như thế nào và vì sao?

Trong quyển sách này, tôi đã chú trọng đặc biệt đến các định luật điều hành hấp dẫn, bởi vì chính hấp dẫn đã quyết định hình dáng các cấu trúc vĩ mô của vũ trụ, mặc dầu hấp dẫn là tương tác yếu nhất trong bốn loại tương tác. Các định luật hấp dẫn không tương thích với quan điểm phổ biến đến mãi tận gần đây là vũ trụ không thay đổi theo thời gian: lực hấp dẫn là lực hút, điều này buộc vũ trụ hoặc giãn nở hoặc co lại. Theo lý thuyết tương đối rộng, tồn tại một trạng thái với mật độ lớn vô hạn trong quá khứ, vụ nổ lớn là điểm bắt đầu của thời gian. Tương tự như vậy, nếu toàn bộ vũ trụ co lại, phải tồn tại một trạng thái khác cũng với mật độ vô cùng lớn trong tương lai, vụ co lớn sẽ là chung cuộc của thời gian. Ngay cả trong trường hợp toàn vũ trụ không co lại, thì cũng tồn tại những kỳ dị trong những vùng địa phương dẫn đến sự co lại thành những lỗ đen. Các kỳ dị này sẽ là điểm kết thúc của thời gian đối với ai rơi vào đó. Tại vụ nổ lớn hoặc các điểm kỳ dị khác, mọi định luật khoa học không còn đúng nữa, và Chúa toàn quyền chọn cho vũ trụ phải bắt đầu như thế nào.

Khi chúng ta tổng hợp cơ học lượng tử với lý thuyết tương đối rộng, hình như tồn tại một khả năng mới, chưa xuất hiện trước đây: không gian và thời gian có thể làm thành một không gian hữu hạn bốn chiều không kỳ dị, không biên tựa như mặt đất song với số chiều lớn hơn. Dường như ý tưởng đó có thể giải thích được nhiều điều trong vũ trụ, ví như sự đồng nhất ở thang vĩ mô cũng như những nơi lệch khỏi sự

đồng nhất đó như thiên hà, các sao và thậm chí cả con người chúng ta nữa. Cũng phải tính đến chiều của mũi tên thời gian mà chúng ta quan sát được. Nếu vũ trụ là hoàn toàn tự thân, không kỳ dị, không biên và có thể mô tả hoàn toàn được bởi một lý thuyết thống nhất, thì điều này sẽ đưa ra những ràng buộc sâu sắc cho vai trò của Chúa như là Đấng sáng tạo.

Einstein đã một lần nêu ra câu hỏi: "Chúa có bao nhiêu phương án khi xây dựng vũ trụ?". Nếu quả giả thiết không có biên là đúng, thì Chúa không còn tự do để chọn các điều kiện ban đầu nữa. Lẽ dĩ nhiên Chúa còn có thể chọn các định luật mà vũ trụ phải tuân theo. Song sự lựa chọn cũng không được nhiều lắm; có thể chỉ một, hai hoặc một số ít các lý thuyết thống nhất hoàn chỉnh, như thuyết dây hỗn hợp, chẳng hạn, là không chứa mâu thuẫn và cho phép sự tồn tại những cấu trúc phức tạp như con người là những sinh vật có khả năng nghiên cứu các định luật của vũ trụ và đặt ra câu hỏi về bản chất của Chúa.

Cho dầu chỉ có một lý thuyết thống nhất là khả dĩ, thì lý thuyết đó cũng chỉ là một tập hợp những quy tắc và phương trình. Điều gì đã thổi sức sống vào những phương trình đó và tạo ra vũ trụ để chúng có thể mô tả được? Cách tiếp cận thông thường của khoa học để xây dựng một mô hình toán học không thể cung cấp câu trả lời cho câu hỏi vì sao lại tồn tại một vũ trụ để cho mô hình đó mô tả. Vì sao vũ trụ phải chịu trải qua mọi sự phiền hà của cuộc sống? Lý thuyết thống nhất có phải vì quá hấp dẫn mà phải tồn tại không? Hoặc vũ trụ cần một Đấng sáng tạo, và nếu quả như vậy, Đấng sáng tạo có tác dụng gì khác đối với vũ trụ? Và ai sáng tạo ra Đấng sáng tạo?

Đến thời điểm này, đa số các nhà khoa học quá bận rộn vào việc phát triển những lý thuyết nhằm trả lời câu hỏi như thế nào, chứ chưa bận tâm đến việc trả lời câu hỏi vì sao? Mặt khác, những triết gia là những người mà công việc là đặt ra câu hỏi vì sao, lại không đủ điều kiện để thông tuệ được các lý thuyết hiện đại. Ở thế kỷ thứ 18, các nhà triết học xem toàn bộ kiến thức của loài người trong đó có khoa học tự nhiên là thuộc lĩnh vực của họ và nêu ra những câu hỏi như: vũ trụ có điểm bắt đầu không? Song đến các thế kỷ 19 và 20, khoa học trở nên quá kỹ thuật và quá toán học đối với những nhà triết học nói riêng và nói chung là đối với nhiều người trừ một số chuyên rất sâu. Các triết gia giới hạn các câu hỏi đến mức mà Wittgenstein, nhà triết học danh tiếng nhất của thế kỷ này đã thốt lên: "Nhiệm vụ duy nhất còn lại của triết học là phân tích ngôn ngữ". Thật là một thoái trào lớn so với truyền thống lớn lao của triết học từ Aristotle đến Kant.

Song nếu chúng ta phát kiến được một lý thuyết đầy đủ thì lý thuyết đó cũng không được hiểu ngay bởi đa số, ngoại trừ một số chuyên gia. Nhưng sau đó, tất cả chúng ta, các nhà khoa học, các triết gia và cả mọi người bình thường sẽ hiểu được và tham gia thảo luận câu hỏi vì sao vũ trụ và chúng ta tồn tại. Nếu chúng ta tìm được câu trả lời, thì đó là sự thắng lợi cuối cùng của trí tuệ con người – vì khi đó chúng ta sẽ biết được ý của Chúa.

ALBERT EINSTEIN

Einstein có liên quan đến chính sách bom nguyên tử, điều đó được nhiều người biết: Einstein đã viết một bức thư nổi tiếng thuyết phục Tổng thống Franklin Roosevelt cần nghiêm túc nghiên cứu vấn đề bom nguyên tử và sau chiến tranh Einstein lại hoạt động chống chiến tranh hạt nhân. Nhưng những hoạt động đó không phải là những hoạt động cô lập của một nhà khoa học bị lôi cuốn vào thế giới chính trị. Cuộc đời Einstein theo cách phát biểu của ông "được chia đôi giữa chính trị và các phương trình".

Einstein bắt đầu những hoạt động chính trị rất sớm, vào thời gian Chiến tranh thế giới lần thứ nhất, khi ông còn là giáo sư ở Berlin. Đau khổ vì số phận nhiều người bị chết, ông tham gia vào nhiều cuộc biểu tình chống chiến tranh. Ông bênh vực sự chống đối của công luận và hô hào quần chúng không tòng quân, những điều này làm ông mất cảm tình của nhiều đồng nghiệp. Sau đó trong thời kỳ chiến tranh, ông hoạt động nhằm cải thiện các mối quan hệ quốc tế. Điều này cũng vậy, làm cho ông bị nhiều thế lực căm ghét, và chính kiến của ông đã sớm gây cho ông nhiều khó khăn trong việc sang Mỹ, thậm chí chỉ để đọc bài giảng.

Hoạt động chính trị lớn thứ hai của Einstein là chủ nghĩa phục quốc Do thái (Zionism). Mặc dầu thuộc dòng họ Do thái, Einstein phủ nhận các ý tưởng của kinh thánh về Chúa. Song trước những hành động bài Do thái ngày càng phát triển trước và trong Chiến tranh thế giới lần thứ nhất, Einstein đã dần dần hòa nhập với cộng đồng Do thái và trở thành một người phát ngôn xuất sắc của phong trào Zionism. Bị nhiều kẻ chống đối, Einstein vẫn không ngừng nói lên quan điểm của mình. Các lý thuyết của ông bị công kích, thậm chí cả một tổ chức chống Einstein cũng đã được thành lập. Một kẻ đã bị truy tố vì hô hào kẻ khác giết Einstein (và chỉ bị phạt 6 đôla). Nhưng Einstein luôn bình tĩnh: khi một cuốn sách có tên *Một trăm tác giả chống Einstein* được công bố, Einstein đã trả lời: "Nếu tôi sai lầm thì chỉ cần một cũng đủ rồi".

Năm 1933, Hitle lên cầm quyền. Lúc đó Einstein ở Mỹ tuyên bố sẽ không về Đức. Khi bọn quốc xã đột phá nhà của ông và tịch thu tài khoản nhà băng của ông, một tạp chí Berlin đã đăng tít đậm "Những tin tức tốt lành từ Einstein... ông ta không trở về nữa". Trước sự đe doạ của bọn quốc xã, Einstein đã từ bỏ chính sách hòa bình và sợ các nhà khoa học Đức sẽ làm một quả bom nguyên tử, ông đã đề nghị Mỹ phải làm bom nguyên tử. Song ngay trước lúc quả bom nguyên tử đầu tiên nổ, ông đã công khai báo động về mối hiểm họa của một cuộc chiến tranh hạt nhân và đề nghị thiết lập sự kiểm soát quốc tế đối với vũ khí hạt nhân.

Trong suốt cuộc đời, các hoạt động cho chính sách hòa bình của Einstein đạt ít kết quả và có lẽ cũng không gây được nhiều tình cảm trong bạn bè. Song các hoạt động cho phong

trào Zionism của ông đã được đền đáp một cách xứng đáng năm 1952, khi ông được đề cử tổng thống Israel. Ông từ chối với lý do là ngây thơ về chính trị. Song, có lẽ lý do chính lại là khác: nói theo lời của ông là "Phương trình quan trọng hơn đối với tôi, vì chính trị là cho hiện tại, còn phương trình là cho vĩnh cửu".

GALILEO GALILEI

Có lẽ Galileo hơn ai hết là người có công lớn trong sự ra đời của khoa học hiện đại. Ông đã chống lại Nhà thờ Thiên chúa giáo, sự chống đối này là điểm trung tâm triết học của ông. Galileo là một trong những người khẳng định rằng con người có thể hy vọng hiểu được vũ trụ hoạt động như thế nào, và ngoài ra, chúng ta có thể làm được điều đó bằng cách quan sát vũ trụ thực tại.

Galileo tin vào lý thuyết Copecnicus (cho rằng các hành tinh quay xung quanh Mặt trời) từ lâu, nhưng chỉ khi tìm ra được những điều hiển nhiên chứng minh cho lý thuyết đó thì ông mới phát biểu công khai. Galileo viết về lý thuyết của Copecnicus bằng tiếng Italia (chứ không phải bằng tiếng Latinh hàn lâm như thông lệ), và quan điểm của ông được ủng hộ rộng rãi ngoài các trường Đại học. Điều này làm các giáo sư phái Aristole giận dữ, họ liên minh chống lại Galileo và thuyết phục nhà thờ Thiên chúa triệt bỏ lý thuyết Copecnicus.

Galileo bèn đến Rome yết kiến chính quyền tôn giáo. Ông lý luận rằng Kinh thánh không nhằm mục đích nói với chúng ta mọi điều về các lý thuyết khoa học, và phải giả định rằng, những đoạn mà Kinh thánh trái với lương tri chỉ là những

đoạn có tính chất phúng dụ, biểu tượng mà thôi. Nhưng Nhà thờ lo sợ đến một vụ bê bối có thể làm thất bại cuộc đấu tranh chống đạo Tin lành nên đã sử dụng những biện pháp đàn áp. Nhà thờ tuyên bố thuyết Copecnicus là "giả dối và sai lầm" vào năm 1616 và yêu cầu Galileo đừng bao giờ "bảo vệ và ủng hộ" học thuyết đó. Galileo đã phục tùng.

Năm 1623, một người bạn cố tri của Galileo lên giữ chức Giáo hoàng. Lập tức Galileo tìm cách hoạt động để Nhà thờ thủ tiêu sắc lệnh năm 1616. Ông đã thất bại, tuy vậy cũng được phép viết một quyển sách bàn luận về hai thuyết Aristotle và Copecnicus dưới hai điều kiện: không được đứng về phái nào và phải kết luận rằng con người không bao giờ xác định được vũ trụ hoạt động như thế nào bởi vì Chúa có khả năng tạo ra chính các hệ quả đó bằng những cách mà con người không hình dung được, con người không thể áp đặt giới hạn cho quyền lực vô biên của Chúa.

Cuốn sách *Đối thoại của hai hệ thống chủ yếu của thế giới* được hoàn thành và xuất bản năm 1632. Với sự giúp đỡ triệt để của kiểm duyệt, cuốn sách ngay lập tức được sự hoan nghênh khắp châu Âu như là một kiệt tác về văn chương và triết học. Liền sau đó, Giáo hoàng hiểu ngay rằng độc giả đã thấy rõ cuốn sách là một tác phẩm đầy thuyết phục về học thuyết Copecnicus và hối tiếc vì đã cho phép xuất bản. Giáo hoàng lý luận rằng mặc dầu cuốn sách đã được kiểm duyệt, nhưng Galileo vẫn vi phạm sắc lệnh năm 1616. Giáo hoàng đã đưa Galileo ra trước Tòa án dị giáo, tòa án này đã tuyên án quản thúc Galileo tại gia suốt đời và buộc ông công khai tuyên bố từ bỏ học thuyết Copecnicus. Lần thứ hai, Galileo phục tùng.

Galileo vẫn là một người Thiên chúa giáo ngoan đạo, song sự tin tưởng của ông vào tính độc lập của khoa học không bao giờ bị lay chuyển. Bốn năm trước khi chết, năm 1642, trong khi vẫn bị quản thúc tại gia, một bản thảo của cuốn sách kiệt tác thứ hai của ông đã lọt đến một nhà xuất bản Hà Lan. Đó là cuốn *Hai khoa học mới*, cuốn sách này không chỉ là sự ủng hộ Copecnicus, mà hơn thế nữa còn là sự hình thành của vật lý hiện đại.

ISAAC NEWTON

Isaac Newton không phải là một người dễ chịu. Những mối quan hệ của ông với các học giả khác rất tai tiếng, phần lớn các giai đoạn sau của cuộc đời ông gắn liền với những tranh luận gay gắt. Sau khi cuốn sách *Principia Mathematica,* cuốn sách uy tín nhất trong vật lý được xuất bản, Newton đã nhanh chóng chiếm được lòng ngưỡng mộ của công chúng. Ông được chỉ định làm Chủ tịch Hội Hoàng gia và trở thành nhà khoa học đầu tiên được phong tước hầu.

Newton mâu thuẫn với nhà thiên văn Hoàng gia John Flamsteed, người trước đây đã cung cấp cho Newton nhiều dữ liệu cần thiết cho cuốn *Principia,* nhưng giờ đây từ chối không cung cấp các thông tin mà Newton cần. Nhưng đáp lại, Newton đã không bó tay, ông tự bổ nhiệm mình vào ban giám đốc Đài thiên văn Hoàng gia và tìm cách buộc phải công bố ngay lập tức các dữ liệu. Ông còn bố trí thu giữ công trình của Flamsteed và giao cho Edmond Halley, kẻ tử thù của Flamsteed, chuẩn bị xuất bản công trình đó.

Flamsteed đưa vụ này ra tòa và kịp thời đạt được lệnh tòa án ngăn không cho xuất bản tài liệu bị đánh cắp. Newton tức giận và trả thù bằng cách xóa bỏ mọi tài liệu dẫn về Flamsteed trong các lần tái bản của *Principia.*

Một cuộc tranh luận nghiêm túc hơn đã xẩy ra với nhà triết học Đức. Gottfried Leibniz. Cả Leibniz lẫn Newton đã độc lập nhau phát triển môn toán giải tích (hay còn gọi là phép tính vi tích phân), vốn sẽ là cơ sở cho vật lý hiện đại. Mặc dầu hiện nay chúng ta đều biết Newton đã phát minh ra môn toán này nhiều năm trước Leibniz, song ông đã công bố các công trình của mình muộn hơn Leibniz. Nảy sinh cuộc tranh cãi om sòm chung quanh việc ai là người đầu tiên tìm ra phép tính này giữa các nhà khoa học ủng hộ hai phía. Một điều đáng chú ý, là số lớn các bài báo ủng hộ Newton lại được chính ông viết ra và công bố dưới tên các bạn ông! Khi cuộc cãi vã có quy mô lớn, Leibniz mắc sai lầm lớn là kêu gọi Hội Hoàng gia giải quyết, Newton vốn là Chủ tịch Hội Hoàng gia, đã chỉ định một hội đồng "không thiên vị" để tra xét vấn đề, hội đồng này "tình cờ" lại gồm toàn những người bạn của Newton! Song chưa hết: Newton đã đệ lên hội đồng một bản báo cáo và Hội Hoàng gia đã công bố bản báo cáo này, trong đó Newton công khai buộc tội Leibniz đánh cắp công trình của mình. Chưa thoả mãn, Newton còn viết một bài nặc danh điểm lại bản báo cáo nói trên và đăng vào tạp chí riêng của Hội Hoàng gia. Sau khi Leibniz chết, người ta còn kể lại rằng Newton đã tuyên bố ông vô cùng thoả dạ khi "làm vỡ quả tim của Leibniz".

Trong thời kỳ diễn ra hai cuộc tranh luận, Newton đã rời Cambridge và môi trường học thuật. Ông là người tích cực tham gia phong trào chính trị chống Thiên chúa giáo tại Cambridge và sau này tại Nghị viện và được bổ nhiệm vào chức vụ rất hời là Thống đốc Sở đúc tiền Hoàng gia. Ở cương

vị này Newton đã sử dụng tài năng của mình để gian dối và cay độc theo cách dễ được xã hội chấp nhận hơn, ông cũng đã thành công trong một chiến dịch lớn chống làm bạc giả và thậm chí cũng đưa nhiều kẻ lên giá treo cổ.

THUẬT NGỮ

Bảo toàn năng lượng (*Conservation of energy*): Định luật khẳng định rằng năng lượng (có thể tính tương đương qua khối lượng) không sinh không diệt.

Bức xạ viba phông hay Bức xạ nền (*Microwave background radiation*): Bức xạ từ lúc vũ trụ còn nóng, hiện nay dịch về phía đỏ nhiều đến mức không còn là ánh sáng nữa mà là dưới dạng viba (tức sóng radio với bước sóng khoảng vài cm).

Bước sóng (*Wave length*): Khoảng cách giữa hai đỉnh hoặc hai hõm sóng kề nhau.

Cầu nối Einstein - Rosen *(Einstein - Rosen bridge)*: Một ống mỏng của không-thời gian nối hai lỗ đen. Xem Lỗ sâu đục.

Chân trời sự cố (*Event horizon*): Biên của lỗ đen.

Chiều không gian (*Spatial dimension*): Một trong ba chiều của không gian, các chiều này đồng dạng không gian khác với chiều thời gian.

Chuyển dịch đỏ (*Red shift*): Sự chuyển dịch về phía đỏ của ánh sáng phát ra từ một sao đang chuyển động xa dần bởi hiệu ứng Doppler.

Cơ học lượng tử (*Quantum mechanics*): Lý thuyết phát triển từ nguyên lý lượng tử của Planck và nguyên lý bất định của Heisenberg.

Điện tích (*Electric charge*): Một tính chất của hạt đẩy (hoặc hút) một hạt khác có cùng (hoặc khác) dấu điện tích.

Điều kiện không có biên (*No boundary conditon*): Ý tưởng cho rằng vũ trụ là hữu hạn song không có biên (trong thời gian ảo).

Định lý kỳ dị (*Singularity theorem*): Một định lý chứng minh rằng dưới những điều kiện nào đó kỳ dị phải tồn tại và nói riêng vũ trụ phải xuất phát từ một kỳ dị.

Đối ngẫu (Duality): Sự tương ứng giữa các lý thuyết bên ngoài tưởng như khác nhau nhưng dẫn tới cùng các kết quả vật lý.

Đường trắc địa (*Geodesic*): Đường ngắn nhất (hoặc dài nhất) giữa hai điểm.

Êlectron (*Electron*): Hạt mang điện tích âm quay chung quanh hạt nhân nguyên tử.

Gia tốc (*Acceleration*): Tốc độ thay đổi của vận tốc.

Giây ánh sáng (năm ánh sáng) Light second (*light year*): Khoảng cách ánh sáng đi trong một giây (một năm).

Giới hạn Chandrasekhar (*Chandrasekhar limit*): Khối lượng tối đa khả dĩ cho một sao lạnh bền lớn hơn khối lượng đó thì sao co lại thành lỗ đen.

Hạt ảo (*Virtual particle*): Trong cơ học lượng tử, đó là một hạt ta không ghi nhận được trực tiếp nhưng sự tồn tại của nó gây ra những hệ quả đo được.

Hạt nhân (*Nucleus*): Hạt nằm ở trung tâm của nguyên tử, gồm notrôn và prôtôn liên kết với nhau bởi tương tác mạnh.

Hằng số vũ trụ (*Cosmological constant*): Một hằng số Einstein đưa vào lý thuyết để làm cho không-thời gian có thể giãn nở.

Hiệu ứng Casimir *(Hiệu ứng Casimir)*: Lực hút giữa hai tấm kim loại phẳng song song đặt gần nhau trong chân không. Lực này xuất hiện là do sự giảm thiểu số photon ảo trong vùng không gian giữa hai tấm kim loại.

Khối lượng (*Mass*): Lượng vật chất trong một vật thể, quán tính đối với gia tốc.

Không-thời gian (*Space-time*): Một không gian bốn chiều, mỗi điểm tương ứng với một sự cố.

Không độ tuyệt đối (*Absolute zero*): Nhiệt độ thấp nhất, tại đó vật chất không còn nhiệt năng.

Kỳ dị (*Singularity*): Một điểm của không gian tại đó độ cong của không-thời gian trở nên vô cùng.

Kỳ dị trần trụi *(Naked singularity)*: Một điểm kỳ dị của không-thời gian không bao quanh bởi lỗ đen.

Lỗ đen (*Black hole*): Vùng của không-thời gian từ đó không gì thoát ra khỏi được, kể cả ánh sáng vì hấp dẫn quá mạnh.

Lỗ đen nguyên thủy (*Primordial hole*): Lỗ đen sinh ra ở các giai đoạn sớm của vũ trụ.

Lỗ sâu đục *(Wormhole)*: Một ống mỏng của không-thời gian nối các vùng ở xa của vũ trụ. Các lỗ sâu đục cũng nối các vũ trụ song song hoặc các vũ trụ sơ sinh và có thể tạo ra khả năng du hành theo thời gian.

Lực điện từ (*Electromagnetic Force*): Lực tương tác giữa các

hạt có điện tích, đây là loại lực mạnh thứ hai trong bốn loại lực tương tác.

Lực tương tác mạnh (*Strong force*): Lực tương tác mạnh nhất trong bốn loại lực tương tác, có bán kính tác dụng ngắn nhất. Lực này cần giữ các hạt quark trong prôtôn và notrôn, và liên kết prôtôn và notrôn để làm thành hạt nhân.

Lực tương tác yếu (*Weak force*): Lực tương tác yếu thứ hai trong bốn loại tương tác cơ bản với bán kính tác dụng rất ngắn. Lực này tác dụng lên các hạt vật chất nhưng không tác dụng lên các hạt truyền tương tác.

Lượng tử (*Quantum*): Đơn vị không phân chia được trong bức xạ và hấp thụ của các sóng.

Lý thuyết dây (String theory): Một lý thuyết vật lý trong đó các hạt được mô tả như các sóng trên dây. Các dây chỉ có chiều, nhưng không có các chiều khác tuyến (radio).

Máy gia tốc hạt (*Particle accelerator*): Thiết bị sử dụng các nam châm điện, có khả năng làm chuyển động các hạt có điện tích, do đó chúng thu được năng lượng lớn hơn.

Năng lượng thống nhất điện từ yếu (*Electroweak unification energy*): Năng lượng cỡ 100 GeV, cao hơn trị số đó thì không còn sự khác biệt giữa các tương tác điện từ và yếu.

Năng lượng thống nhất lớn (*Grand unification energy*): Năng lượng mà trên đó, tương tác điện từ, yếu và mạnh không còn khác biệt nhau.

Nguyên lý bất định (*Uncertainty principle*): Ta không bao giờ đo được chính xác cùng một lúc vận tốc và vị trí của hạt; càng biết chính xác đại lượng này thì càng biết ít về chính xác về đại lượng kia.

Nguyên lý loại trừ (*Exclusion principle*): Hai hạt đồng nhất có spin bằng 1/2 không thể có cùng một vị trí và vận tốc (trong giới hạn xác định bởi nguyên lý bất định).

Nguyên lý lượng tử của Planck (*Planck's quantum principle*): ý tưởng cho rằng ánh sáng (hoặc bất kỳ một sóng cổ điển nào khác) có thể hấp thụ theo từng lượng nhỏ rời rạc, gọi là lượng tử, có năng lượng tỷ lệ với tần số.

Nguyên lý vị nhân (*Anthropic principle*): ta thấy vũ trụ như thế này bởi vì nếu vũ trụ khác đi thì ta không thể tồn tại được để mà quan sát nó.

Nguyên tử (*Atom*): Đơn vị cơ sở của vật chất, gồm hạt nhân (cấu thành bởi nơtrôn và prôtôn) có các êlectron chuyển động chung quanh.

Nhị nguyên sóng/hạt (*Wave/particle duality*): Một khái niệm trong cơ học lượng tử nói rằng không có sự khác biệt giữa sóng và hạt: một hạt đôi khi có dáng điệu của sóng và ngược lại.

Nón ánh sáng (*Light cone*): Một mặt trong không-thời gian giới hạn các hướng khả dĩ cho những tia ánh sáng đi qua một sự kiện.

Nơtrinô (N*eutrino*): Một hạt cơ bản rất nhẹ (rất có thể là không có khối lượng) chỉ tham gia vào các tương tác yếu và hấp dẫn.

Nơtrôn (*Neutron*): Một hạt không có điện tích, nhiều tính chất rất giống prôtôn, chiếm xấp xỉ một nửa số các hạt cấu thành nên hạt nhân nguyên tử.

Pha (*Phase*): Đối với sóng, vị trí của nó trong chu kỳ tại một thời điểm: đây là số đo xem sóng đang ở đỉnh, ở hõm hoặc ở một điểm nào khác giữa đỉnh và hõm.

Phản hạt (*Antiparticle*): Mỗi loại hạt có một phản hạt tương ứng. Mỗi hạt chạm với phản hạt thì chúng hủy nhau và cho thoát ra năng lượng.

Phóng xạ (*Radioactivity*): Quá trình chuyển biến tự phát của một hạt nhân nguyên tử này thành một hạt nhân khác.

Phổ (*Spectrum*): Sự tách, ví dụ, của sóng điện từ ra các tần số thành phần.

Phôtôn (*Photon*): Lượng tử của ánh sáng.

Pôsitrôn (*Positron*): Phản hạt của êlectron, mang điện tích dương.

Prôtôn (*Proton*): Hạt mang điện tích dương, chiếm xấp xỉ một nửa số trong các hạt cấu thành hạt nhân nguyên tử.

Pulsar *(Pulsar):* Sao nơtron quay phát ra đều đặn các sóng vô tuyến (radio).

Quark (*Quark*): Hạt (có điện tích) tham gia tương tác mạnh. Mỗi prôtôn và nơtrôn được cấu thành bởi ba hạt quark.

Rađa (*Radar*): Một hệ thống phát sóng vô tuyến để định vị một vật thể bằng cách đo thời gian sóng đến và phản xạ lại từ vật đó.

Sắc điện động lực học lượng tử (*Quantum chromodynamics*

- *QCD)*: Lý thuyết mô tả tương tác của các quark và gluon.

Sao nơtrôn (*Neutron star*): Một sao lạnh tồn tại nhờ lực đẩy phát sinh vì nguyên lý loại trừ giữa các nơtrôn.

Sao trắng lùn (*White dwarf*): Sao lạnh bền tồn tại nhờ lực đẩy phát sinh vì nguyên lý loại trừ giữa các êlectron.

Spin (*Spin*): Một thuộc tính nội tại của các hạt cơ bản, gắn liền, song không đồng nhất với khái niệm quay thông thường.

Sự cố, sự kiện (*Event*): Một điểm trong không-thời gian, xác định bởi thời điểm và vị trí của nó.

Tần số (*Frequency*): Đối với ánh sáng, số chu kỳ trong một giây.

Thời gian ảo (*Imaginary time*): Thời gian đo bằng số ảo.

Thuyết thống nhất lớn (*Grand unified theory* - GUT): Lý thuyết thống nhất các tương tác điện từ, mạnh và yếu.

Thuyết tương đối hẹp (*Special relativity*): Thuyết của Einstein dựa trên ý tưởng cho rằng các định luật khoa học phải là như nhau đối với mọi quan sát viên chuyển động tự do, với vận tốc bất kỳ.

Thuyết tương đối rộng hay tổng quát (*General relativity*): Lý thuyết của Einstein dựa trên ý tưởng rằng các định luật khoa học phải là như nhau đối với mọi quan sát viên bất kể họ chuyển động như thế nào. Lý thuyết này giải thích lực hấp dẫn bằng độ cong của không-thời gian bốn chiều.

Tia gamma (*Gamma ray*): Sóng điện từ với bước sóng rất ngắn, phát sinh trong các quá trình phân rã phóng xạ, hoặc va chạm của các hạt cơ bản.

Tọa độ (*Coordinates*): Các số dùng xác định vị trí của một điểm trong không gian và thời gian.

Tổng hợp hạt nhân (*Nuclear fusion*): Quá trình trong đó hai hạt nhân chạm nhau, tổng hợp thành một hạt nhân duy nhất nặng hơn.

Trạng thái dừng (*Stationary state*): Trạng thái không thay đổi với thời gian: một quả cầu quay với vận tốc không thay đổi là ở vào một trạng thái dừng bởi vì trạng thái đó là như nhau ở mọi thời điểm, mặc dù đó không là một trạng thái tĩnh.

Trọng lực (*Weight*): Lực tác dụng của trường hấp dẫn lên một vật, lực này tỷ lệ với khối lượng.

Trường (*Field*): Một thực thể tồn tại rộng trong không-thời gian, ngược lại với hạt chỉ vốn tồn tại ở một điểm và một lúc.

Từ trường (*Magnetic Field*): Trường của các lực từ, hiện nay đã được thống nhất với điện trường thành điện-từ trường.

Tỷ lệ (*Proportional*): "X được gọi là tỷ lệ với Y" nếu khi nhân Y với một số nào đó, thì X cũng bị nhân với số đó. "X được gọi là tỷ lệ nghịch với Y" nếu khi nhân Y với một số nào đó, thì X bị chia cho số đó.

Vật chất tối *(Vật chất tối):* Vật chất trong các thiên hà, trong các đám thiên hà và có thể ở giữa các đám thiên hà mà ta không quan sát được trực tiếp, nhưng có thể

phát hiện được thông qua hiệu ứng hấp dẫn. Gần 90% khối lượng của vũ trụ có thể là vật chất tối.

Vụ co lớn (*Big crunch*): Điểm kỳ dị chung cuộc của vũ trụ.

Vụ nổ lớn (*Big bang*): Điểm kỳ dị ban đầu của vũ trụ.

Vũ trụ học (*Cosmology*): Môn học về toàn bộ vũ trụ.

Lời cám ơn

Nhiều người đã giúp tôi viết cuốn sách này. Các đồng nghiệp khoa học của tôi, tất cả, chẳng trừ một ai, đều tạo cho tôi sự hứng khởi. Trong nhiều năm, những người cộng tác chủ yếu của tôi là Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter, George Ellis, Gary Gibbons, Don Page và Jim Hartle. Tôi mang ơn họ và tất cả các nghiên cứu sinh của tôi, những người đã luôn giúp đỡ tôi những lúc cần thiết.

Một trong các sinh viên của tôi là Brian Whitt, người đã giúp tôi rất nhiều cho lần xuất bản đầu tiên của cuốn sách này. Biên tập viên ở Bantam Books, ông Peter Guzzardi, đã đưa ra rất nhiều nhận xét khiến cuốn sách được hoàn thiện một cách đáng kể. Ngoài ra, trong lần xuất bản này, tôi xin cảm ơn Andrew Dunn, người đã giúp tôi đọc lại bản thảo.

Tôi cũng không thể viết cuốn sách này nếu thiếu hệ thống giao tiếp của mình. Phần mềm có tên là Equalizer đã được Walt Waltosz thuộc Công ty Words Plus Inc, ở Lancaster, California gửi tặng. Máy tổng hợp tiếng nói của tôi cũng do Công ty Speech Plus, ở Sunnyvale, California trao tặng. Máy tổng hợp tiếng nói đó và chiếc laptop đã được David Mason, thuộc Công ty Cambridge Adaptive Communication Ltd lắp

ngay trên chiếc xe đẩy của tôi. Với hệ thống này, giờ đây tôi có thể giao tiếp còn tốt hơn cả trước khi tôi mất giọng.

Tôi đã có rất nhiều thư ký và trợ lý trong nhiều năm viết và chỉnh sửa cuốn sách này. Về phía thư ký, tôi đánh giá rất cao Judy Fella, Ann Ralph, Laura Gentry, Cheryl Billington, và Sue Masey. Các trợ lý của tôi là Colin Williams, David Thomas, và Raymond Laflamme, Nick Phillips, Andrew Dunn, Stuart Jamieson, Jonathan Brenchley, Tim Hunt, Simon Gill, Jon Rogers, và Tom Kendall. Họ cùng với các y tá, đồng nghiệp, bạn bè và gia đình đã giúp tôi dù sức khỏe ốm yếu vẫn có thể sống một cuộc sống rất đầy đủ và theo đuổi sự nghiệp nghiên cứu của mình.

STEPHEN HAWKING

MỤC LỤC

LƯỢC SỬ THỜI GIAN

STEPHEN W. HAWKING

CAO CHI - PHẠM VĂN THIỀU dịch

Chịu trách nhiệm xuất bản:
Giám đốc - Tổng biên tập NGUYỄN MINH NHỰT
Biên tập: NGUYỄN THỊ HẢI VÂN
Bìa và sửa bản in: BÙI VĂN NAM
Kỹ thuật vi tính: THANH HÀ

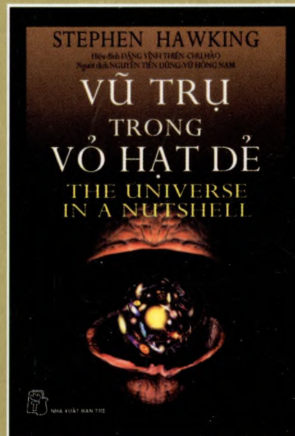
NHÀ XUẤT BẢN TRẺ
Địa chỉ: 161B Lý Chính Thắng, Phường 7,
Quận 3, Thành phố Hồ Chí Minh
Điện thoại: (08) 39316289 - 39316211 - 39317849 - 38465596
Fax: (08) 38437450
E-mail: hopthubandoc@nxbtre.com.vn
Website: www.nxbtre.com.vn

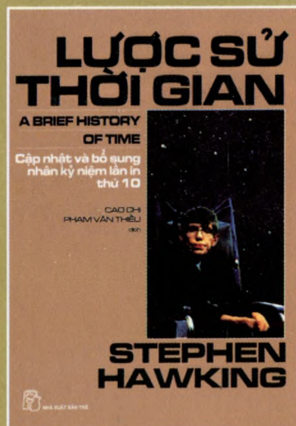
CHI NHÁNH NHÀ XUẤT BẢN TRẺ TẠI HÀ NỘI
Địa chỉ: Số 21, dãy A11, khu Đầm Trấu, Phường Bạch Đằng,
Quận Hai Bà Trưng, Thành phố Hà Nội
Điện thoại: (04) 37734544
Fax: (04) 35123395
E-mail: chinhanhhanoi@nxbtre.com.vn

CÔNG TY TNHH SÁCH ĐIỆN TỬ TRẺ (YBOOK)
161B Lý Chính Thắng, P.7, Q.3, Tp. HCM
ĐT: 08 35261001 – Fax: 08 38437450
Email: info@ybook.vn
Website: www.ybook.vn

Khổ: 14 cm x 20 cm, số: 464-2015/CXBIPH/520-40/Tre
Quyết định xuất bản số 1409A/QĐ-Tre, ngày 31 tháng 12 năm 2015
In 3.000 cuốn, tại Xí nghiệp In Nguyễn Minh Hoàng
Địa chỉ: 510 Trường Chinh, phường 13, quận Tân Bình
In xong và nộp lưu chiểu quý I năm 2016

STEPHEN HAWKING, sinh vào dịp kỷ niệm ngày mất của Galileo năm 1942, nắm giữ chức giáo sư toán Lucasian tại trường Đại học Massachussets. Ông được xem là nhà vật lý lý thuyết lỗi lạc từ sau Einstein, ông còn là tác giả của *Lỗ đen và Những vũ trụ nhỏ* xuất bản năm 1993, *Vũ trụ trong vỏ hạt dẻ,* cùng với rất nhiều những cuốn sách và bài báo khoa học khác.





"Sống động và lôi cuốn... Hawking rõ ràng sở hữu những tài năng của một thầy giáo dạy môn tự nhiên - dễ chịu, đôn hậu, hài hước và một khả năng minh họa những định đề khá phức tạp bằng những sự tương đồng rút ra từ cuộc sống hàng ngày."

- *The New York Times*

"Làm say mê và dễ hiểu... Một quyển sách sáng chói."

- *The New Yorker*

"Một tóm tắt xuất sắc của những gì mà các nhà khoa học bây giờ nghĩ thế giới được tạo nên và cách mà thế giới đã như vậy."

- *The Wall Street Journal*

"Quyển sách này kết hợp tài tình sự ngạc nhiên của đứa trẻ với trí tuệ của một thiên tài. Chúng ta du hành vào vũ trụ của Hawking trong lúc kinh ngạc trước trí tuệ của ông."

- *The Sunday Times (London)*

TEM THÔNG MINH

Cào mã tem phía dưới và nhắn theo cú pháp
NXBTRE MATEM gửi 6000 (500VNĐ/tin nhắn) để tham gia chương trình khuyến mãi và chăm sóc khách hàng từ NXB Trẻ.
Mọi thông tin chi tiết về chương trình, xin vui lòng liên hệ:
Hotline: 0932 260 062 - http://cskh.nxbtre.com.vn

MÃ TEM
SỐ SERI
AB 032 880





www.ybook.vn/ebook

ISBN 978-604-1-01204-2
Lược sử thời gian



Giá: 75.000 đ

nxbtre.com.vn